

**MULTIMODOS E MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES:
FUNDAMENTOS E PERSPECTIVAS SEMIÓTICAS PARA A APRENDIZAGEM DE
CONCEITOS CIENTÍFICOS**

**(Multimodes and multiple representations: theoretical frameworks and semiotic perspectives
for scientific concepts learning)**

Carlos Eduardo Laburú* [laburu@uel.br]

Osmar Henrique Moura da Silva [osmarh@uel.br]

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina

CEP 86051-970, Cx.P.6001, Londrina, PR

Resumo

A natureza do conhecimento científico está necessariamente vinculada a um tipo particular de linguagem que emprega uma variedade de representações e utiliza diversos modos discursivos para comunicá-las. Compreender esse conhecimento envolve dar significação a essas representações. Por essa perspectiva, este trabalho destaca alguns conceitos teóricos da ciência semiológica com a finalidade de realizar uma reflexão a respeito das dificuldades de estudantes com as representações científicas. As reflexões que se encaminharão estão balizadas em recentes pesquisas que vem tomando parte em estudos da educação matemática e científica, sendo que porção substancial do tema a ser tratado tem sido foco privilegiado de investigações da primeira área de estudo. Com esse procedimento, temos a intenção, primeiramente, de transpor reflexões teóricas relevantes dessa área para a educação científica, confiando estar contribuindo com o refinamento conceitual desta última, na medida em que o referencial analítico que subsidia a educação matemática se mostra capaz de fornecer um panorama teórico igualmente válido para o aprimoramento da educação científica. Deste modo, procuramos confluir conhecimentos que vem ocorrendo de maneira praticamente independente entre duas áreas de conhecimento, possibilitando um enriquecimento intelectual. Num segundo momento, reunimos trabalhos de uma ainda incipiente área de pesquisa em educação científica que investiga as influências pedagógicas que a multimodalidade representacional e múltiplas representações têm na construção dos significados científicos. Além de procurar mostrar uma continuidade direta com o tema anterior, tentamos estabelecer relações com outros conceitos e teorias da literatura em educação científica. Todavia, a essência do trabalho está em atentar para a questão semiótica como campo promissor de estudo para entender a natureza das dificuldades de aprendizagem das representações científicas, permitindo com seus conceitos teóricos trazer nova luz aos problemas dos aprendizes com a compreensão dessas representações, assim como ser um ponto de inspiração para a elaboração de novas ferramentas pedagógicas para tentar enfrentá-los.

Palavras-chave: Educação científica, semiótica, perspectivas de investigações.

Abstract

The nature of the scientific knowledge is necessarily linked to a peculiar type language that uses a variety of representations and several discursive manners to communicate them. To understand that knowledge involves giving significance to those representations. For that perspective, this work highlights some theoretical concepts of the semiotic science with the purpose of accomplishing a reflection regarding the students' difficulties with the scientific representations. The reflections that will be place are based in recent researches that are participating in studies of the mathematical and scientific education, but substantial portion of the theme in focus has been privileged by investigations of the first study area. With that procedure, we firstly have the intention transposing important theoretical reflections of mathematical education area to scientific education,

*Com auxílio parcial do CNPq, Fundação Araucária e FAEPE/UEL.

entrusting to be contributing with the conceptual refinement of this last one, as while analytic referential that subsidizes the mathematical education it is shown capable to supply a theoretical panorama equally valid to refine scientific education. With that, we tried to converge two knowledge areas that come practically developing in independent way, making it possible an intellectual enrichment. In a second moment, we still join works of an incipient research area in scientific education that investigates the pedagogic influences that have multi-modal and multiple representations in the construction of the scientific meanings. Besides trying to show a direct continuity with the previous theme, we tried to establish relationships with other concepts and theories of the literature in scientific education. Nevertheless, the essence of the work is to attempting for the semiotic theme as promising field of study to understand the nature of the difficulties of learning of the scientific representations, allowing with its theoretical concepts to bring new light to the problems of the apprentices with the understanding of those representations, as well as being an inspiration point for the elaboration of new pedagogic tools to try to face them.

Keywords: Scientific education, semiotics, investigations' perspectives.

Introdução

Uma importante contribuição proporcionada pela teoria construtivista para a educação em geral e para a educação das ciências em particular foi realçar que o pensamento só pode ser analisado em termos de linguagem. Desta surge e se desenvolve todo o pensamento e este simplesmente inexistente fora dela. A ciência semiológica trata o pensamento como um processo simbólico e sua composição somente é acessível pela análise da estrutura da língua (Fidalgo, 1998, p. 24).

Em especial, o pensamento científico é inseparável de simbolismos que lhe são próprios e que são usados para representar as idéias por detrás dos princípios e grandezas formadoras dos blocos constituintes das leis e teorias envolvidas com os fenômenos naturais e seus objetos. A linguagem científica implica numa gama variada e integrada de representações simbólicas, sendo que aí se localiza a força desse tipo de pensamento.

Numerosas observações de pesquisas e avaliações de experiências de aprendizagem em sala de aula mostram que as representações constituem uma atividade menos espontânea e mais difícil de adquirir para a grande maioria dos alunos (Duval, 2004, p. 28 e 49). Normalmente, tanto os professores de matemática como de ciências não refletem sobre essa questão de maneira aprofundada e, por várias razões, costumam achar que os símbolos não têm um valor instrucional maior e acabam por tratá-los de forma imatura ou sem a devida atenção. Contudo, para as aprendizagens científica e matemática a troca das representações é uma atividade fundamental do pensamento, pois favorece que elas sejam ligadas e associadas, criando conexões (Patterson & Norwood, 2004, p. 7; Steinbring, 2006; Eco, 1985, p. 96) entre idéias ou relações hierárquicas entre elas (Ausubel et al., 1980), o que auxilia a construir a necessária significação.

Duval (ibid.) afirma que a troca de registros da linguagem natural para imagens, tabelas, gráficos, esquemas, linguagem algébrica ou geométrica, entre outros, ocasiona obstáculos à compreensão dos alunos que são independentes da complexidade do campo conceitual trabalhado. Quando do processo de troca, a ausência de associação entre a linguagem natural e as diferentes representações, ou destas entre si, gera, com frequência, aprendizagens deficitárias. Como aprofundaremos à frente, na substituição do discursivo natural normalmente as tarefas de construção simbólica priorizam as chamadas atividades de formação e tratamento, reduzidas as primeiras à evocação do objeto real e à sua figuração, e as segundas a simples operacionalização mecânica. Porém, no momento dessas tarefas, não se deve menosprezar outra atividade cognitiva inerente a semiosis denominada de conversão. A indevida importância desta última no ensino acaba

por tornar a aprendizagem do novo registro frequentemente estéril. Com isto, uma importante barreira à aprendizagem se levanta quando há, por parte do processo educativo, uma despreocupação em estabelecer relações entre as três atividades mencionadas e os significados dos conceitos embutidos nos registros de representação e que, como veremos, são indissociáveis. Abreviadamente, afirma Duval, uma aprendizagem centrada na mudança e coordenação dos diferentes registros de representação produz efeitos surpreendentes em tarefas de produção e compreensão (op. cit., p. 49). Por meio da coordenação, proporciona-se a extensão da capacidade mental (Duval, 2006, p. 126).

A problemática por detrás do mecanismo semiológico, com suas normas e fatores responsáveis por coordenar o símbolo aos conceitos que lhe correspondem, apresenta-se como um objeto a ser devidamente considerado e fundamentado nas investigações que envolvem favorecer o processo de significação via o ensino e aprendizagem. Equivoca-se quem imagina que tal coordenação é simples decorrência da adesão aos conteúdos da matéria ensinada, prescindindo de uma atenção mais específica do professor com os problemas semiológicos. Ora, fazer com que uma representação semiótica (Duval, 2004, p. 35) do estudante não se restrinja à expressão ou a algoritmos de tal forma que permaneça isolada de outros sistemas representacionais, consequência da reprodução e imitação automáticas, sem que corresponda a nenhuma significação ou objetivação, é então essencial. Como será visto na próxima seção, no desenrolar da aprendizagem é preciso haver concatenação entre as definições simbólicas, disponibilizadas pelas propriedades ligadas às atividades de formação, e as propriedades de tratamento e conversão. No que cabe a esta última, fazem-se necessários cuidados minuciosos com o trânsito entre representações, objetivando entender as dificuldades inerentes às suas transformações, sendo que, como veremos, a superação das mesmas também passa pela implantação de um ambiente multimodal de ensino. Com isso, é possível vislumbrar uma apuração conceitual realizada pelo estudante emergida do domínio simbólico e que tem, como efeito, uma aprendizagem significativa (Moreira, 1999). De fato, por meio de tais considerações semióticas é factível proporcionar um fôlego novo para programas de pesquisa que tem como base a aprendizagem significativa de Ausubel (Ausubel et al. 1980).

Durante o ensino costuma ser mínima a atenção voltada ao mecanismo de conversão pelas seguintes razões: a) Não existem, na maioria das vezes, regras gerais para esse mecanismo; b) Imagina-se que a troca de registros de representação tem fins de economia e simplicidade de tratamento; uma vez efetuada a conversão, fica-se só com o registro final para dar continuidade à tarefa; c) Ao se crer no imediatismo e simplicidade de uma troca de registro, imagina-se que se deter neste tipo de atividade cognitiva é ficar atrasado na parte do ensino mais importante da matéria (Duval, 2004, p. 48).

Como teremos a oportunidade de ver, alguns modos e formas representacionais são mais apropriados para iniciar uma mediação da construção dos registros científicos, tais como a língua natural ou a ilustração por desenho (Laburú et al., 2009), pertencentes as representações informais do aprendiz (Waldrip et al. 2010, p. 70). A despeito de haver indicações de que as ilustrações melhoram o rendimento em determinados tipos de provas (Mayer & Gallini, 1990), ou de maneira genérica, de que ao serem satisfeitas certas condições há uma probabilidade de uma melhor aprendizagem quando os alunos dispõem de informação verbal e visual simultânea (Perales Palacios, 2006, p. 19a), a dificuldade dos alunos do ensino básico em ler imagens e dar-lhes interpretação coerente e compatível com a significação para a qual foram propostas, vem, porém, sendo objeto de reflexão de trabalhos em educação científica (Colin & Viennot, 2002; Stylianidou et al., 2002). Por tais referências, é imediato que as imagens estão longe de serem consideradas triviais e diretamente transparentes para os estudantes. Logo, para uma leitura correta de um documento contendo imagens é preciso um conhecimento de fundo capaz de entrar em ressonância com a mensagem que a imagem pretende transmitir (Pintó & Ametller, 2002, p. 333, 335), e apenas

a inserção em um programa semiótico, como fonte teórica de orientação, permite vislumbrar soluções para esses tipos de problemas educacionais.

Este estudo vai circunscrever suas reflexões a quatro pontos básicos: 1) A aquisição dos conhecimentos que dispõem e utilizam de uma variedade de representações apresenta, para muitos alunos, uma dificuldade adicional para a aprendizagem dos conteúdos que ultrapassa a utilizada pela linguagem verbal natural; 2) Os símbolos, esquemas etc. formam uma linguagem de códigos, regras e significados próprios que precisam ser aprendidos para os conceitos correlacionados serem elaborados; 3) Uma deficiente destreza das linguagens simbólicas científicas pelo aprendiz encobre não só dificuldades conceituais associadas à formação do signo, mas igualmente prejudica o entendimento mais geral do conteúdo estudado; 4) A produção intelectual dos alunos tende a alcançar uma qualidade radicalmente diferente caso tenham a oportunidade de descobrir em distintos registros e no uso discursivo integrado de múltiplos modos de representação a organização intelectual que devem expressar; ou seja, aprendizes submetidos a um processo de negociação das questões representacionais, surgidas da provocação de transformações de registros e da necessidade de re-representar o mesmo conceito em diversos modos, ao mesmo tempo em que são instigados a integrá-los num discurso compreensível, tendem a demonstrar melhor entendimento conceitual do que aqueles que não têm ocasião de assim o fazer.

Consideradas as colocações e pontos anteriores, e guiados por orientações de ordem semiológicas, num primeiro momento procuramos realizar ponderações que tomam essa referência teórica como suporte para o aperfeiçoamento educacional científico. Tendo isso em mente, temos o objetivo de encaminhar uma discussão que traga um novo e alternativo enfoque às propostas que vem sendo colocadas para essa área educacional. Em sua maioria, os conceitos teóricos semióticos aqui tratados não comparecem nas pesquisas em educação científica, apesar de existirem trabalhos que se destacam por abordarem o tema com outro viés, como veremos num segundo momento. Entretanto, na literatura das pesquisas em educação matemática há uma iniciativa avançada nesse sentido, e devido à natural integração existente entre física e matemática, e num grau menor, com a química, tendo potencialidades de se estender também aos conteúdos de biologia, é dessa literatura ainda isolada que ousamos aproveitar muitas das reflexões dirigidas para a educação científica, que é o foco central do nosso interesse. Na condução do segundo momento de reflexões, vamos de forma tangencial colocar que é possível uma consonância de argumentos em defesa do referencial semiótico para o ensino e aprendizagem das ciências com elementos conceituais de uma visão pedagógica atual construtivista.

Antes de darmos início ao que pretendemos e para melhor esclarecer a abordagem do tema salientado, é preciso comentar que os estudos semióticos se perdem no tempo e na variabilidade teórica. Dado isto, estamos a nos direcionar por um limitado recorte deste campo de estudos, e os destaques bibliográficos a serem levados ao debate estarão afetos às pesquisas que mantêm seu interesse dentro de um ponto de vista cognitivista, afastando-se, por exemplo, da semiótica social que vem se difundido na literatura de educação científica e que num certo sentido se coloca como proposta contrastante.

Desenvolvimento

Conceitos semióticos para operações simbólicas

Nas últimas três décadas do século vinte, o avanço das pesquisas em educação científica na linha cognitivista teve como resultado a elaboração teórica conhecida pelo nome de modelo de mudança conceitual. Esse modelo passou a ser uma proeminente e dominante referência (DUIT, 2003) para a compreensão do processo de aprendizagem científica e de encaminhamento de

propostas metodológicas para o ensino de ciências. Surgido a partir do movimento de concepções alternativas nos fins dos anos setenta, o modelo de mudança conceitual constrói seus fundamentos baseados na filosofia da ciência (Posner et al., 1982) e na psicologia cognitiva (Osborne & Wittrock, 1983).

Com o avanço do modelo, duas principais estratégias de ensino são propostas de modo a haver a promoção de mudanças conceituais (Scott et al., 1991, p. 312). Uma, de inspiração piagetiana, busca empregar conflitos cognitivos, com o objetivo de colocar idéias prévias dos estudantes antagônicas às científicas em confronto para promover uma mudança conceitual em direção ao conhecimento científico, esperando que o conhecimento prévio do aluno fosse abandonado. Em oposição a esta, a outra estratégia aproveita as idéias prévias dos sujeitos sem procurar descartá-las. Ela se serve de representações por meio de analogias e metáforas para desenvolver e estender as idéias prévias do aprendiz em direção ao ponto de vista científico, evitando o confronto direto com as concepções do aluno. Em 1987, Niedderer (apud Scott et al., 1991, p. 317) chega a propor para essa estratégia que o estudante não troque as suas concepções pelas científicas, mas recomenda que haja um favorecimento em direção a uma tomada de consciência do estudante de ambos os conhecimentos, sendo que a aprendizagem científica se dá pelas diferenças entre os conhecimentos. Apoiada na teoria de Ausubel, essa estratégia afirma que esquemas e conhecimentos previamente adquiridos pelo sujeito formem uma base de sustentação para tornar compreensíveis novos significados. A perspectiva ausubeliana estabelece que o conhecimento pré-existente do aprendiz oportuniza uma ponte conceitual para os novos conceitos científicos a serem ensinados. No processamento dos novos conceitos, consegue-se fundar um relacionamento não arbitrário e substantivo (Moreira, 1999, p. 77) desses conceitos com as idéias prévias, por meio do mecanismo cognitivo denominado de ancoragem, que favorece uma aprendizagem significativa.

Pela segunda estratégia assume-se que a mudança conceitual pode ser encorajada quando se provêem oportunidades aos estudantes para construir um qualitativo e intuitivo entendimento do fenômeno, antes de haver o domínio dos seus princípios quantitativos. Tais entendimentos são elaborados pela formação de relações analógicas entre um conceito alvo de difícil compreensão e um exemplo-âncora que apela para a intuição do estudante. A finalidade do exemplo-âncora é conduzir as representações prévias e intuitivas do estudante, grosseiramente compatíveis com as teorias científicas aceitas, em direção ao ponto de vista científico (Clement et al, 1989). No caso do estudante não aceitar a analogia, o instrutor promove outras representações analógicas intermediárias que formam pontes conceituais entre o exemplo-âncora e o conceito alvo (Scott et al., 1991, p. 317). As pontes conceituais e o exemplo-âncora buscam, por uma aproximação de semelhança, chegar aos conceitos desconhecidos a partir de idéias conhecidas.

Do colocado acima nos interessa observar que apesar da segunda estratégia utilizar imagens pictóricas para produzir analogias e metáforas, a preocupação central do modelo de mudança conceitual é alterar as concepções dos alunos dentro de um marco cognitivo em que preocupações semiológicas não são contempladas. Todavia, nos últimos anos um programa de pesquisa em educação matemática e científica vem concentrando esforços para compreender as dificuldades dos aprendizes em lidar especificamente com as linguagens simbólicas e imagens no ensino de conteúdos. O núcleo desse programa toma premissas da ciência semiótica para dirigir investigações voltadas a ultrapassar os problemas envolvidos com a formação e aprendizagem das representações.

Antes de adentrarmos na exposição propriamente dita desse programa é preciso uma breve digressão para explicar o sentido da palavra representação que estará sendo constantemente empregada. Geralmente, define-se representação da mesma maneira que se define o signo lingüístico, ou seja, como relação entre alguma coisa visual ou auditiva e a evocação de outra coisa que está ausente ou cuja realidade é simplesmente mental. As representações podem ser crenças

individuais, concepções errôneas ou não, cujo acesso é feito através da produção de variadas formas de expressão. Podem também ser signos e suas associações complexas, que são produzidas de acordo com regras que permitem a descrição de um sistema, um processo ou um conjunto de fenômenos (Duval, 2006, p. 104). A essas últimas classes de representações dá-se a denominação de representações semióticas para diferenciá-las das representações mentais e computacionais (Duval, 2004, p.35-37). As representações mentais permitem olhar o objeto na ausência total de significantes perceptíveis, portanto, são produções internas ao sujeito e não comunicáveis diretamente a outra pessoa. Cobrem além das imagens mentais, os conceitos, noções, idéias, crenças, fantasias, valores que um indivíduo compartilha com seu meio, grupo particular ou com seus próprios desejos. Quanto às representações semióticas, elas permitem “uma olhada do objeto” pela percepção de estímulos (formas, pontos, traços, caracteres, sons, objetos...), tendo valor de significantes como figuras, esquemas, gráficos, expressões simbólicas e lingüísticas etc., tal que seus sinais têm função de transmitir mensagens (Prieto, 1973, p. 10). Diferenciam-se por serem produções externas, portanto, passíveis de serem comunicadas e obedecem a um sistema de regras que autorizam suas associações. Por fim, as representações computacionais são aquelas cujos significantes são independentes de olhar para o objeto, permitem transformações algorítmicas e diferentemente das outras não são conscientes. Ainda que as representações semióticas de um sujeito sirvam para expressar suas representações mentais não pode haver correspondência direta entre elas senão uma interação, assunto que melhor será elaborado.

Feita esta digressão, vejamos que é senso comum entre os professores do ensino básico achar que os seus alunos têm grandes dificuldades em aprender certas matérias e o caso da Física é um exemplo particular a ser destacado. Além de envolver um conjunto de informações e a construção de uma estrutura conceitual hierarquizada de conteúdos, como acontece com outras matérias, a natureza diferenciada da Física se sobressai em dificuldades adicionais que são de ordem matemática. No caso do conhecimento físico existe uma relação indissociável entre abstrações conceituais e matemáticas, resultado de idealizações da natureza que, dentro da incerteza da medição, servem para operacionalização experimental e estabelecimento “adaptativo” (Arruda et al., 2001) entre a esfera empírica e as relações matemático-conceituais de horizonte teórico. A essas complicações, temos acrescentadas dificuldades relativas à representação modal cinestésica, que envolve destrezas e competências no uso de equipamentos, técnicas de medição e de tratamento de dados (p.ex., Buffer et al., 2001; Allie et al., 1998; Larcher et al., 1994), a necessidade de considerações a respeito do conhecimento de fundo que forma a base empírica, além da conscientização de crenças ontológicas e compromissos epistemológicos (Chinn & Brewer, 1993) que os alunos trazem para a sala de aula reconhecidamente recalcitrantes à mudança. Todos estes pontos são obstáculos pedagógicos para a aprendizagem do conhecimento físico, podendo inexistir ou ser menos expressivos para outros conhecimentos de outras matérias.

No entanto, dentro do que nos cabe assinalar, acrescentemos a exigência considerável de simbolização que os conteúdos científicos concentram. Com respeito aos símbolos aqui enfocados, não estamos a nos referir apenas àquelas representações semióticas ligadas à produção da linguagem lógica ou algébrica, que pertencem ao domínio de dificuldade matemática apontada, mas igualmente à produção de diversos signos necessários a comunicação dos conhecimentos físicos, químicos ou biológicos, incluindo inclusive aqueles que envolvem um âmbito mais técnico. A título de ilustração, em Física podemos constatar vários exemplos, como no estudo da óptica geométrica em que uma combinação de retas e pontas em forma de flecha representa raios de luz ou lentes; na mecânica, três eixos ortogonais designam o conceito de referencial; em ondulatória, as mesmas combinações anteriores de retas e flechas simbolizam frentes de ondas ou suas direções de propagação e são utilizadas para idealizar ondulações mecânicas; no eletromagnetismo, linhas de campo são desenhadas com pontos, cruz, traços retos ou curvos, com pontas de flechas; em termodinâmica têm-se abstratos esquemas de máquinas térmicas ou modelos de gases; no estudo de

circuitos elétricos temos um conjunto de esquemas com uma enormidade de códigos e regras de associação; isso sem mencionar as representações gráficas para tratar as funções matemáticas etc..

A clássica diferenciação classificatória peirciana dos signos em índices, ícones e símbolos (Eco, 2003, p. 157), explica-se pelas diferentes espécies de regras semânticas utilizadas. A regra semântica de um signo indexical, como apontar ou demonstrar dor, estipula que o signo designa a qualquer momento aquilo que é apontado, sem caracterizar o que denota, mas mantém conexão existencial ou causal direta com o objeto (Otte, 2006, p.35). Em contrapartida, ícones e símbolos caracterizam aquilo que designam (Fidalgo, 1998, p. 99). Enquanto os primeiros mantêm relação de similaridade ou analogia com o referente, pois ao caracterizarem o objeto denotado incorporam ao signo propriedades que o objeto possui, para os últimos essas propriedades não aparecem. Os símbolos são adotados arbitrariamente, fundamentados numa convenção social e por isso conservam uma relação instituída aceita previamente, como as letras do alfabeto ou os algarismos, para serem usados como veículos no lugar de outra coisa (Eco, 2003, p. 11; Medeiros & Medeiros, 2001; Rego, 1998). Os signos prestam-se para as mais diversas finalidades que vão, desde simples ilustração de formas, objetos ou fenômenos, até marcas para conceber esquemas e associações de sistemas ou linguagens complexas. Cumprem função de expressão, comunicação, objetivação, tratamento econômico de informação e facilitação da atenção. Ao tomarem parte das representações semióticas, auxiliam tarefas com o objetivo de reduzir custos de memória, de tomada de consciência do referente, consistindo de suporte fecundo para as representações mentais (Duval, 2004, p. 28), logo, para a reflexão conceitual, para a operacionalização de situações reais e imaginárias, e para solucionar problemas teóricos e práticos.

A relação do Homem com o mundo não é direta, mas fundamentalmente mediada pelos signos. Para Vygotsky (apud Freitas, 1995), o desenvolvimento das funções psíquicas superiores se processa pela internalização dos sistemas de signos produzidos culturalmente. Os signos têm papel cognitivo já que funcionam como apoio à memória e como poderoso instrumento de mediação da linguagem e do desenvolvimento do pensamento, ampliando a nossa capacidade de ação sobre o mundo (Oliveira, 1993). Sem a possibilidade de signos característicos exteriores e permanentes enquanto apoio da memória, substituto de representações próprias mais difíceis de distinguir e manejar, não haveria qualquer vida espiritual superior, para já não falar da ciência (Husserl apud Fidalgo, 1998, p. 45). Kubli (2005, p. 504) diz que a consciência individual é nutrida por meio dos signos, sendo seu crescimento derivado a partir deles. Para Peirce (apud Eco, 2003, p. 146), toda vez que pensamos, temos presente na consciência algum sentimento, imagem, concepção ou outra representação que serve de signo. Para ele, o homem só pode pensar por meio de palavras ou outros signos externos, e sendo cada pensamento um signo, então, o Homem é inseparável do signo. Por essa perspectiva Homem e signo só podem ser pensados em conjunto, e mais importante a ressaltar é que o homem ao se educar pelas palavras faz com que estas últimas também sejam reciprocamente cultivadas por ele (Peirce apud Eco, 1985, p. 146). Portanto, o significado não se separa do reino dos signos trocados entre os membros de uma comunidade e não permanece restrito a uma mente individual (kubli, 2005, p. 507). Para Duval (2004, p. 35), as representações semióticas têm valor de significantes, permitindo um “olhar do objeto”, substituindo-o pela percepção ou evocação de estímulos. Elas se diferenciam não só pela natureza dos seus significantes, mas, mais importante, por um sistema de regras internas que autorizam sua combinação e significação.

Como examinaremos ainda com maior aprofundamento, para a resolução de problemas físicos ou geométricos, recorrer a formas de representação analógicas como figuras, esquemas, diagramas etc., às vezes resulta ser mais direto e mais simplificado do que se valer de modos textuais, orais, fórmulas etc., o que é capaz de facilitar a conceituação. Particularmente na Física, os símbolos são convenientes elaborações para representar a realidade, os quais simplificam, agilizam,

fortalecem e aprimoram a capacidade do intelecto em tratá-la¹. Servem de suporte para a construção de entidades mentais ligadas a elementos diretamente perceptíveis, ou não, que os modelos incorporam. Ademais, certos signos de física procuram guardar, por detrás da sua arbitrariedade figurativa, uma relação icônica com a conceituação que pretendem significar. Essa característica pode vir a auxiliar não só a sua lembrança, mas, principalmente, a sua associação conceitual². Ora, ainda que, por força da figuração simbólica, haja, em um primeiro momento, dificuldades de memorização e de significação trazidas pelo afastamento da linguagem natural, pode-se aproveitar esses símbolos, figurados de maneira não totalmente arbitrária, já que dão indícios ou pistas em sua imagem do significado do conceito tratado, para explicitar e tornar tal significado mais direto e consciente para o aprendiz. Embora se constate que não é costume este recurso ser aproveitado durante as aulas, em princípio é uma ação que se considerada vem a ser cognitivamente produtiva, devido à possibilidade da associação conceitual engendrada, além de se tornar um auxílio mnemônico de uma rápida recordação ou designação dos objetos representados. Fundamentalmente, essa ação é promotora da aprendizagem do significado que está por detrás do símbolo especificado e de sua correspondente integração. Ao criar vínculos entre os conceitos do conteúdo trabalhado, a associação permite uma memorização ativa (Oliveira, 1993, p. 26), portanto, encaminhando-se em direção a uma proposta de aprendizagem significativa, conforme a próxima seção.

Diante do exposto, em que a circunstância citada é mais evidente, é muito razoável suspeitar que a atividade semiótica não se acha isolada da atividade conceitual. Com isso, retomemos um ponto recorrente das discussões que poderia ser sintetizado na seguinte pergunta, com imediatas implicações pedagógicas: em geral, a atividade conceitual implica a atividade semiótica?

Para responder essa pergunta faz-se necessário antes desenvolver algumas considerações a respeito de três atividades cognitivas já comentadas que são inerentes ao processo semiótico. A primeira trata da atividade de formação das representações em um registro particular, cuja finalidade é expressar as representações mentais ou evocar um objeto real. Essa atividade implica sempre na seleção de um conjunto de caracteres e de determinações que constituem o que se quer representar (Duval, 2004, p. 42). Podemos dizer que a atividade de formação corresponde a uma

¹ Isso é claramente visto, por exemplo, na teoria da eletrodinâmica quântica, que trata da interação da radiação com a matéria e que unificou a eletrodinâmica clássica com a mecânica quântica. Quando se comparam as idéias de Feynman com as de Schwinger e Tomonaga a respeito da eletrodinâmica quântica, que abordam o mesmo conjunto de idéias, mas sob pontos de vista diferentes, Dyson, em 1948, demonstrou que a simplificação dos cálculos da teoria de Feynman, em relação ao tratamento dos outros dois autores, em grande parte deveu-se a introdução dos seus diagramas. Feynman emprega um método muito mais simples do que a longa série de cálculos formais de Schwinger baseado em uma representação visual dos seus gráficos ou diagramas (Castellani & Castellani, 2005, p. 62a).

² Este é o caso do uso generalizado de flechas para comunicar grandezas físicas conceitualmente distintas, como força, velocidade, versores de sistemas de referência, linhas de campo, etc., e que têm por finalidade denotar abstratas grandezas vetoriais que, dependendo da concentração ou comprimento das mesmas, sugerem intensidades. Devemos mencionar que as mesmas flechas são usadas como esquemas nos textos com os mais variados e distintos propósitos: para apontar explicações, sinalizar distâncias, dar a noção de deslocamento de algo como o imponderável fluxo de calor num esquema de máquina térmica, corrente elétrica num circuito, deslocamento de um feixe de luz ou, simplesmente, o rumo de um móvel. Os símbolos de capacitores procuram identificar objetos constituídos de seções separadas, podendo-se inferir que são uma barreira às correntes elétricas contínuas; o símbolo em ziguezague de resistores elétricos, em oposição aos fios de ligação, insinua a dificuldade para a corrente elétrica atravessar esses dispositivos, etc. Ainda no caso específico das figuras de flechas, vemos o quanto é simplificada e apropriada essa maneira de representar quando se imagina substituir o sinal reto das flechas (\rightarrow) por um sinal, por exemplo, semicircular ou tortuoso com dois pontos em cima (\curvearrowright) para comunicar que há uma força aplicada em um móvel. Certamente, as últimas convenções impingem um inconveniente afastamento da intuição do que está sendo representado e uma desnecessária complicação para desenhar, como é o caso quando se utiliza o símbolo de um retângulo para resistores elétricos em vez do tradicional ziguezague. É de se atentar, também, para o emprego de diversos tipos de símbolos nos aparelhos eletrônicos. Eles procuram sinalizar variados aspectos como volume, ligado-desligado, velocidade, direção (p.ex. em certos vídeos temos um ou dois triângulos deitados, querendo dizer “play” (tocar) e avanço rápido, respectivamente), gravação (dois círculos separados por uma reta que os tangenciam, tentando denotar um antigo sistema de gravação magnética) etc. (Ver tb. Montagna, s.d., p.60)

função cognitiva elementar, pois envolve simples designação nominal e reprodução de traços que permitem identificar dispositivos físicos em forma de representação. Duas outras atividades ligam-se a uma propriedade fundamental das representações semióticas que é a transformação. Fala-se em tratamento quando a transformação se faz no interior do mesmo registro, permitindo expansão informacional; sai-se de uma representação de partida para outra terminal de modo a permanecer-se dentro do mesmo registro. O tratamento não mobiliza mais do que um registro de representação (ibid. p. 32, 44). A paráfrase na Linguagem, ou na Física em que uma associação de resistores com variadas configurações leva a um mesmo resultado, ou na Matemática com seus cálculos numéricos ou algébricos equivalentes, mantendo o mesmo tipo de registro, são todos casos ilustrativos de operações que envolvem a atividade de tratamento. Às vezes, o objetivo cognitivo básico instrucional com essa operação não se volta necessariamente à expansão informacional, mas ao aprimoramento e a consolidação da inteligibilidade do que está sendo tratado e aprendido. Por final, fala-se em conversão sempre que a transformação passa de um registro a outro, produzindo uma representação distinta da representação inicial (ibid., p. 42). Nesse caso, há uma mudança de registro, cada qual com regras específicas de tratamento. As habituais operações de tradução, ilustração, interpretação, transferência ou mudança de codificação etc., ou as operações entre as escritas fracionárias, decimais ou com expoentes, ou entre forma algébrica e gráfica, são exemplos de tal atividade. Pelo fato das diferentes representações apresentarem distintas regras internas, a operação de conversão requer um mecanismo de coordenação inter-registros por parte do sujeito que a efetua. Apesar de a transformação ser uma propriedade comum às normas de tratamento e conversão, as regras internas da primeira não se confundem com as da segunda, sendo mesmo totalmente distintas (ibid., p. 45). A conversão é uma transformação mais complexa do que a de tratamento por duas razões. Primeiramente, porque solicita em quaisquer trocas de registros, além do domínio simultâneo das regras internas de tratamento de cada registro e da singularidade de cada regra de conversão, o reconhecimento do mesmo objeto representado entre duas representações, cujos conteúdos frequentemente nada têm em comum, mas que acabam conservando a mesma denotação (Duval, 2006, p. 110 e 112). Em segundo, porque requer dissociação cognitiva do objeto representado do conteúdo da representação semiótica particular (ibid., p. 124). Diga-se de passagem, a habitual idéia de classificar a conversão como codificação ou tradução com o sentido simples de troca de convenções é ilusória (op. cit., p. 113) por dois motivos: uma modificação menor nas regras de codificação ou tradução, compreendidas nesse sentido, pode causar falha de interpretação; e se torna simples tarefa de leitura e não de reconhecimento como exige a conversão. É importante também notar que para Duval (op. cit., p. 111) nem todos os sistemas semióticos de representações são classificados como registros. Cabe tal denominação somente aos sistemas de representação que ficam sujeitos à propriedade de transformação.

Por serem as transformações fontes de incompreensões por si mesmas, jaz na complexidade da atividade de conversão a raiz dos problemas de muitos estudantes com o pensamento físico, matemático entre outros. A atividade de conversão limita consideravelmente a capacidade de muitos deles em adquirir novos conhecimentos, assim como em usar e entender o conhecimento adquirido. As dificuldades cognitivas levantadas pela conversão podem ser observadas em diferentes tipos de trocas de registros de representação. De fato, para citar uma situação, é conhecida a dificuldade da alteração dos termos de um problema em palavras para expressões simbólicas, (op. cit., p.112).

As três diferentes propriedades semióticas se confundem no que ordinariamente se chamam de tarefas de produção e compreensão (Duval, 2004, p. 42). A produção de uma resposta, seja um texto ou um esquema, mobiliza ao mesmo tempo a formação e o tratamento das representações. Na mobilização há respeito a regras que servem para definir sistema de representação empregado. São regras que se referem à determinação das unidades elementares e às suas admissíveis combinações para formar unidades de nível superior e que dão as condições para que representações de maior nível sejam pertinentes e completas. Elas permitem identificar um conjunto de elementos físicos ou

de traços como a representação de alguma coisa. Admitem, assim, o reconhecimento das representações em um determinado registro, cumprindo uma função de identificação e de sentido para o que se encontra à frente e que não é o mesmo que o produziu. Porém, isso não deve sugerir que o conhecimento das regras para a produção seja suficiente para compreensão ou exploração das representações dadas (ibid., p. 43). Para haver compreensão é necessário mobilizar as três atividades. Uma ilusória decorrência educacional envolvida com as propriedades acima é achar que somente saber expressar a representação e operar suas regras de tratamento, ou seja, ficar limitado à produção, sem que se possibilite ao estudante estabelecer a tomada de consciência do significado dado por essas regras, significado este que não deixa de passar pela atividade cognitiva de conversão para atingir entendimento do conteúdo ensinado.

Um ponto relevante que se levanta disso é o que trata da dificuldade própria à atividade cognitiva de conversão. Tal dificuldade reside, essencialmente, na discriminação das unidades significantes que se deve por em correspondência entre o registro de partida e o de chegada. Acontece que da passagem de um registro a outro a natureza das unidades significantes que se deve identificar e o modo de discriminação são alteradas. Nessa mudança, a resistência à conversão depende do grau de não congruência (op. cit., p. 55) entre as representações. O fenômeno de congruência está sujeito aos critérios de correspondência semântica, univocidade terminal e ordem de arranjo das unidades (op. cit.: 53). Correspondência semântica existe no momento em que é possível associar ou traduzir cada unidade significante semiótica simples de uma representação para uma unidade significante elementar de outra representação. Em sendo essa associação única, diz-se que existe univocidade semântica. O terceiro critério permanece relativo à organização das unidades significantes na comparação entre duas representações de partida e chegada. Haverá ordem de arranjo das unidades que compõem cada um dos registros comparados se as respectivas organizações das unidades de cada representação puderem ser conduzidas segundo uma mesma seqüência. Esse fenômeno é sobretudo importante no ensino das ciências e educação matemática na ocasião em que se comparam frases e fórmulas algébricas, ou destas últimas com seus respectivos gráficos, ou quando se precisa montar esquematicamente um problema. Em não se cumprindo ao menos um dos três critérios anteriores o fenômeno de não congruência se apresenta. Portanto, o problema da compreensão para a aprendizagem envolve intrínsecas relações de reconhecimento do mesmo objeto conceitual em meio a diferentes registros, a discriminação do que é ou não relevante do sistema semiótico em evidência e a construção de conexões entre os registros (DUVAL, 2006, p. 115).

De volta à pergunta a respeito da implicação entre atividades conceituais e semióticas, a resposta mais freqüente para ela é negativa, inclusive confirmada pelo fenômeno comum de *encapsulação* que persiste no trato semiótico como um acontecimento do aprender (op. cit., p. 63). Estreitamente ligada às dificuldades conceituais de compreensão, a encapsulação refere-se à obediência às regras internas de tratamento de forma fechada. A não dissociação entre o objeto e representação é comum nesse caso (Duval 2006, p. 124). Duas representações do mesmo objeto são consideradas como de dois objetos distintos ou as alterações entre distintas maneiras de representar o mesmo conteúdo são abordadas de maneiras independentes. Trata-se de uma situação de permanência em um mono-registro de forma isolada e que se opõe à coordenação de registros. Incompreensões conceituais se manifestam, há fracasso de conversão e acontece ausência de transferência de conhecimentos quando se vai além dos casos padrões estudados. Conversões diretas e inversas não são flexíveis, revelando inaptidão do sujeito para realizá-las. O conhecimento se apresenta compartimentado, com esquemas divergentes e contraditórios compondo a estrutura cognitiva. O insucesso da conversão se sobressai na ocasião em que se conjugam os fenômenos de encapsulação e não congruência dos registros (Elia et al., 2007, p. 539; Panaoura et al., 2007, p. 550).

Mais rotineiramente, a resposta negativa acima se sustenta no ponto de vista observado de que o tratamento das representações serve exclusivamente para a mudança de registro de maneira econômica e fecunda. Por conseguinte, poder-se-ia manter a independência e a prioridade da atividade conceitual em relação à atividade semiótica. Tal particularidade privilegia as funções de expressão e regras de tratamento.

Em oposição às respostas negativas, considera-se o mecanismo de coordenação envolvido por detrás da troca de registros. Em razão da necessidade deste mecanismo, a atividade conceitual não se vê isolada da atividade semiótica, pois a formação e a aquisição de um conceito, ou “*noesis*”, permanecem essencialmente ligadas à descoberta de uma invariância entre as heterogêneas produções semióticas (figuras, textos, linguagens matemáticas etc.) a ser alcançada pelo aprendiz. Por extensão, somos levados a ponderar que a apropriação com significado das regras próprias de tratamento e de conversão não pode, e nem deve, ser afastada do que Garcia (1982, p. 36) denomina de natureza causal e legal do conhecimento físico³. De fato, a raiz do problema que muitos estudantes enfrentam com o pensamento matemático, o qual permanece subjacente à natureza legal do conhecimento físico, está no professor acreditar que a conversão depende de uma compreensão puramente conceitual, isto é, que ela acontece de maneira essencialmente mental ou assemiótica (Duval, 2006, p. 127). Uma avaliação igualmente problemática e antagônica a esta é crer que os signos matemáticos por si mesmos contêm os significados, as idéias ou os conceitos (Steinbring, 2006), uma posição equivocada que o fenômeno de encapsulação evidencia.

Numerosas experiências sob condições controladas de laboratório ou em sala de aula atestam que a conversão das representações é quase imediata para os alunos se existir congruência entre registros, sendo que o contrário acontece caso ela não venha a existir (Duval, 2004, p. 50). A situação de não congruência é relevante causa de dificuldades e, por conseguinte, fracassos de aprendizagem. A razão disto se encontra na inexistência de correspondência semântica termo a termo entre as respectivas unidades significantes de duas ou mais expressões e da falta de tomada de consciência da invariância na tradução dos registros. Para satisfazer tais condições se faz indispensável uma reorganização da expressão dada no registro de partida para obter-se a expressão correspondente no registro de chegada. Em um cenário mais comum em que não há congruência, torna-se imperativo ao ensino não só uma atenção à atividade de tratamento, mas acima de tudo um maior tempo e dedicação às dificuldades de conversão. Não obstante, o processo solidário e indissociável dessas atividades cognitivas deve estar presente para haver compreensão e não ficar apenas na produção. Consta-se disso na medida em que a conversão resulta impossível de efetuar ou de compreender sempre que não houver uma vigilância com a aprendizagem prévia concernente às especificidades semióticas de formação e de transformação das representações próprias a cada um dos registros presentes.

Uma preocupação insuficiente do ensino nessa direção se manifesta por meio de incoerências de aprendizagem. Isso pode ser averiguado quando há descuido em identificar as propriedades individuais dos elementos sígnicos e as normas de tratamento e conversão. Em termos mais específicos, quando não se discriminam as unidades significantes, as funções, as propriedades geradas pela combinação, as associações semânticas entre unidades, quando se deixa de capturar a invariância denotativa por detrás da conversão, ou como já destacamos, sempre que for o caso, quando o significado existente por detrás da construção das regras de formação icônica, que muito auxiliam a associar a atividade de conversão aos respectivos conceitos correlacionados, não é explorado. Um modo concreto de se conseguir perceber problemas como esses pode ser encontrado na maneira em que um estudante, no estudo de um conteúdo particular, explicita inconsistências que

³ P. ex., em circuitos elétricos, as regras de associação em série ou paralelo dos resistores elétricos, ou porque não se devem ligar os terminais de um dispositivo elétrico bipolar no mesmo potencial etc. têm a ver com o modelo de corrente ou leis de Kirchhoff.

tipificam um ensino apoiado na exclusividade da transmissão de códigos e algoritmos ou no momento em que fica evidenciado o fenômeno de encapsulação.

Ao modelo semiótico de representação centrado nas funções de tratamento e conversão acrescentam-se duas operações, próprias ao processamento figural, que Duval (2004, p. 161) aplica à geometria, mas que podemos aqui convenientemente transpor para o estudo dos esquemas ou figuras utilizados nas matérias de educação científica. São elas: conduta de abdução e operação de reconfiguração. A conduta de abdução consiste em restringir, de início, a classe de hipóteses ou alternativas que não de ser consideradas numa análise. É uma operação que torna hipotética uma conexão física precedente e uma relação de causa e efeito que não são provadas (Eco, 1985, p. 118). Quando se depara com uma figura, tende-se a limitar de imediato a exploração de todos os caminhos possíveis, uma vez que a atenção se vê capturada por aqueles aspectos suscetíveis que conduzem à solução do que se quer, mas que de fato não o fazem. Tal conduta, em nosso entendimento, pode ser compreendida como parte do mecanismo cognitivo mais geral piagetiano denominado de centração. O mecanismo de centração implica em prestar atenção a um ponto de vista, excluindo ou negligenciando outros (Vuyk, 1981, p. 24). Por ele se é capaz de estabelecer uma perspectiva estereotipada que pode terminar fazendo com que se permaneça refém de um raciocínio circular que impede a abertura para novas possíveis perspectivas. Então, um problema pedagógico se coloca nas ocasiões em que é necessário neutralizar a organização perceptiva conduzida por esse mecanismo. Na prática, descentrações do sujeito podem ser estimuladas por novas possibilidades de pensamento e idéias. A viabilidade disso pode ser encaminhada pelo estabelecimento de um ambiente discursivo dialógico de compartilhamento de idéias, que rompa com um ensino padrão em que as tarefas nunca são de reconhecimento, mas de simples leituras, que só requerem entendimentos locais, sem que haja um processo de interpretação global guiado pelas variáveis qualitativas visuais (Duval, 2006, p. 113).

A reconfiguração é uma operação fundamental para apreensão de figuras e que está ligada à propriedade de transformação de tipo tratamento interno. Ela consiste em reorganizar uma ou várias subfiguras de uma figura em outra, dando aparência diferente da inicial. A reorganização pode ser realizada por superposição, rotação, translação, aumento, diminuição, colocação em profundidade e outras operações relativas possíveis que dão uma organização perceptiva aparentemente diferente da figura original (Duval, 2004, p. 173). Constitui-se verdadeiro embaraço à apreensão operatória das figuras quando estas são rearranjadas perceptivelmente, pois a organização visual de uma figura privilegia certas unidades figurais e tende a ocultar outras, levando a conduta de abdução. No ensino da geometria, por exemplo, os professores estão cientes que simples mudanças nas configurações de uma figura podem ser obstáculo para seu reconhecimento (ibid.). No ensino de física, pesquisadores como Prain & Waldrip (2006, p. 1856) e Duit e von Rhöneck (1997) mostram que variações relativamente pequenas, que disfarçam a organização das representações, interferem na capacidade dos estudantes em construir circuitos elétricos, sugerindo não entendimento dos conceitos.

Diversidade semiótica, Integração multimodal de representações e construção de significados

Até este instante as reflexões atravessaram elementos teóricos semióticos de natureza pontual que orientam e ajudam a entender aspectos cognitivos ligados com a construção da significação das representações. Dentro dos objetivos traçados, passemos neste instante a concentrar a atenção às proposições semióticas de ordem mais geral que tendem a enriquecer e complementar as reflexões anteriores, e que igualmente mantêm implicações diretas para a aprendizagem dos conceitos científicos.

Como é simples de se constatar e como já foi dito, a articulação de um pensar científico não se afasta do emprego de grande quantidade de signos. No que concerne à aprendizagem científica, além da necessidade mnemônica exigida pela codificação, que é um problema contornável, a construção do significado da figuração com suas regras ligadas às propriedades de tratamento e conversão, e conseqüentemente, da significação dos conceitos imbricados, vê-se prejudicada se realizada de maneira imediata. Imagina-se, assim, que é possível ocorrer aprendizagem por ato reflexo ingênuo entre signo, objeto e conceito. Quer-se dizer com isso, que trabalhar com representações semióticas envolve um esforço de cognição que suplanta uma simples lembrança e operacionalização de um signo. Paralelamente, compreende também a superação do caráter, em parte, assustador e da ansiedade que a aprendizagem da simbologia possui para muitos aprendizes, pois o estudo perde apoio da linguagem natural e se distancia do sensível, o que, num primeiro momento educativo, talvez seja interessante contornar. A simples ação de decorar, copiar ou memorizar símbolos e operacionalizações de forma arbitrária e sem substantividade (Ausubel apud Moreira, 1999, p. 77) pelos alunos, inevitavelmente acarreta um entendimento enganoso do assunto. Gera um conhecimento compartimentado, com esquemas construídos divergentes, independentes e uma estrutura cognitiva incoerente (Panaoura et al., 2007, p. 550). Nesse sentido, frequentes falhas conceituais dos alunos não são percebidas pelo professor, a despeito de ser essencial a sua detecção, explicitação, debate e superação em sala de aula, mas que só tardiamente são identificadas nas avaliações. Conseqüentemente, as representações deveriam estar no centro da análise dos complexos e específicos processos de pensamento durante a instrução científica, e essa preocupação precisaria levar em conta as diferenças entre os vários sistemas semióticos usados, causadores de bloqueios e recalitrâncias de aprendizagem.

Dentro da esfera de ensino de um conteúdo, a codificação, a figuração ou a esquematização por serem consideradas aspectos triviais por quem leciona acabam por encobrir incorreções de conceituação, sendo estes erroneamente interpretados pelo professor ou professora como simples inexatidão de memorização ou falta de domínio operacional dos signos ou de seu modo de comunicação. De fato, o alerta do trabalho de Colin & Viennot (2002), que procura questionar os alunos sobre o que estão compreendendo a respeito de uma pictografia ou de um esquema de códigos, possibilita aproveitar falhas semióticas dos aprendizes para discutir os verdadeiros problemas de conceituação, a fim de desenvolver a aprendizagem do conteúdo na sua totalidade. Esse procedimento, se efetuado, motiva a revelação de dificuldades de aprendizagem, como a incompreensão do que está sendo representado e, por decorrência, dos conceitos teóricos envolvidos.

A partir do ponto de vista das reflexões elaboradas na seção anterior, decorre que a aprendizagem de novos conceitos não pode ser separada de como aprender a representá-los e nem do que significam essas representações (Tytler et al. 2007, p. 317). De forma geral, ao se afirmar que um aprendiz está entendendo ou que aprendeu algo, está-se a dizer que ele, além de ser capaz de mobilizar os conhecimentos dentro e fora do contexto de cada representação ensinada, também deve ser hábil na conversão de registros ou tradução entre quaisquer representações. Isto se torna factível a partir do momento em que o conhecimento enfocado se encontrar fundado na coordenação das representações passíveis de sofrerem transferência. De um ponto de vista semiótico, compreender envolve, em última instância, competência no trânsito intra-representação e inter-representação de um mesmo referente (objeto ou conceito). A operação de coordenação realizada entre as representações semióticas deve cumprir, para cada uma delas, as funções de expressão, transformação e objetivação. Enquanto a transformação é importante para distinguir a natureza dos sistemas de representação semióticos, a objetivação corresponde à passagem da representação de um estado não-consciente para um consciente, o que, em outras palavras, significa a descoberta pelo próprio sujeito do significado da representação que, portanto, passa a ter um caráter intencional (Duval, 2004, p. 33). A compreensão não se limita aos critérios de acerto de produção, mas se encaminha para uma maturidade revelada junto à rapidez de tratamento de cada

registro e espontaneidade de conversão, logo, de coordenação dos diversos registros. Caso a aquisição de conhecimentos fique circunstanciada à formação e às regras de tratamento das representações efetuadas em um só registro, ou, em outras palavras, quando são privilegiados os registros de forma compartimentada, ela se mantém restrita a um mono-registro. Tal situação não acarreta coordenação porque os vários registros permanecem simultaneamente ou sucessivamente mobilizados de maneira fechada, gerando encapsulação. Frequentemente, a aprendizagem dos elementos simbólicos das teorias se dá desta forma na escola, ainda que isto não exclua uma forma de compreensão pelos alunos. Não obstante, a compreensão limitada ao mono-registro é um entrave. A maioria dos alunos, ao sair das fronteiras e contexto do registro estudado, entrando em uma situação desconhecida, é incapaz de aplicar os conhecimentos adquiridos. Deixa de realizar, portanto, transferências, e triviais reconfigurações, por exemplo, se tornam verdadeiros obstáculos.

Por sua vez, Panaoura et al. (2007, p. 538) afirmam que da diversidade de representações vem o significado dado a um objeto matemático e, como poderíamos generalizar, de qualquer objeto cultural. Por isso, o trânsito e a variabilidade dos sistemas representacionais são fundamentais para o entendimento conceitual e determinam, numa significativa extensão, o que foi aprendido. Cada representação de um conceito oferece informação sobre um traço peculiar do mesmo sem ser capaz de descrevê-lo completamente (op. cit., p. 534, 537), conseqüentemente, formas variadas de representação provêm distintas inferências. Isto porque uma representação apresenta natureza diversa de outra, proporcionando restrita capacidade de representação e descrição de aspectos diferentes do referente (op. cit., p. 538). Cada sistema de representação encerra propriedades específicas que limitam intrinsecamente suas possibilidades de representação. Por exemplo, conforme Treagust et al. (apud Leites et al., 2008, p. 156b), tem-se muitas formas de representar moléculas e átomos e cada uma delas é usada para destacar aspectos particulares do fato que se pretende explicar. Nenhuma dessas representações é universalmente aplicável e a representação particular escolhida em uma situação dada é dependente desta. Os signos não funcionam de maneira idêntica e nem provêm de um sistema único (Benveniste apud Duval, 2004, p. 66), afinal toda representação é cognitivamente parcial em relação ao que representa e não apresenta idêntica maneira de ver um mesmo conteúdo conceitual. Conseqüentemente, cada sistema semiótico nos permite uma maneira distinta de significar sem que esta seja redundante (Radford et al. 2007, p. 505).

Outro ponto que devemos voltar a considerar encontra-se na troca de registro que faz com que certos tratamentos sejam efetuados de uma maneira muito mais simples e mais potente. A importância dessa troca está justamente em se conseguir efetuar um tratamento totalmente diferente em outro registro distinto daquele em que foram dadas as representações iniciais. Sem dúvida, cálculos numéricos ou algébricos, com a escrita decimal dos números e as notações literais, são mais econômicos e potentes do que feitos com a linguagem natural⁴. Em geometria, por exemplo, o poder heurístico das figuras explica-se pelo fato dos tratamentos figurativos que elas permitem executar não serem equivalentes aos raciocínios dedutivos estabelecidos por um teorema em forma escrita simbólica ou em língua natural. Por uma figura, diferentemente de um teorema ou definição, se é capaz de perceber objetos e relações em um espaço de dimensão superior àquele que o raciocínio explicita e necessita. O caso da figura joga, pois, um papel heurístico ao permitir trabalhar numa dimensão superior à das unidades figurais que representam (Duval, 2004, p. 171). Elas e os esquemas apresentam o mérito de representar a totalidade das relações entre os elementos constituintes do objeto ou da situação estudada. Ambos possibilitam modificações visuais proporcionais surgidas das relações das partes com o todo e que podem ser realizadas mentalmente ou fisicamente, independentes de qualquer conhecimento específico.

⁴ Ver também nota 3.

Por outro lado, as figuras, como as representações analógicas, as geométricas entre outras, têm limitações. Elas não conseguem representar mais do que estados, configurações ou produtos de operações, e não ações ou transformações (Bresson apud Duval, 2004, p. 69). Para representar operações é necessário possuir as propriedades de uma linguagem semelhante à lingüística ou algébrica, logo, de registro. Outra limitação encontra-se na diferença mencionada acima entre as dimensões percebidas e as exigidas no trato das figuras. Nas operações de modificação que se fazem necessárias na análise das figuras, existem ainda fatores específicos para cada operação mais ou menos visíveis, que constituem a riqueza, mas, ao mesmo tempo, a complexidade das figuras geométricas e de outras. Nas resistências e armadilhas de uma figura que prejudicam uma favorável conduta de abdução subjazem fatores que são próprios a cada representação figural como, por exemplo, a lei gestática do fechamento ou da continuidade dos estímulos visuais. Esta lei determina que contornos simples e fechados de uma figura geométrica são vistos separados como se fossem um todo, uma vez que predominam as unidades de dimensões maiores em relação as inferiores quando do estímulo visual (Duval, 2004, p. 158).

De volta à discussão que relaciona aprendizagem e representações, a pluralidade destas últimas em combinação com um discurso integrador baseado em multimodos de representação constitui um mecanismo pedagógico fundamental, na medida em que aprimora consideravelmente o processo de significação e oferece procedimentos variados de interpretação e entendimento. Por meio da compreensão fundada na coordenação de múltiplas representações e na integração multimodal o pensamento e os achados científicos abrem possibilidades de nova significação conceitual (Duval, 2004, p. 75; Prain & Waldrip, 2006, p. 1844). Para a aprendizagem dos registros de representação, dificilmente não se revela necessário e essencial um ensino centrado na conversão das representações e efetuado por fora da tarefa de tratamento. Mas, de maneira geral, para qualquer representação uma instrução direcionada para novos domínios instiga uma aprendizagem sob inovada e ampliada rede de conceitos e, conseqüentemente, para uma aprendizagem significativa. Duvida-se pouco do valor pedagógico de engajar os estudantes na construção de representações diversificadas, de forma a ajudá-los a notar padrões e realizar cálculos e pensamentos.

Para se dar de maneira mais efetiva e engajada a aprendizagem em ciências, pesquisas em educação científica asseguram, entre outras coisas, a necessidade de que os estudantes sejam desafiados a desenvolver um entendimento mais profundo dos significados em estudo, sem desconsiderar suas preferências e necessidades pessoais de aprendizagem, tema que ainda aprofundaremos. Além disso, é preciso que tarefas de avaliação sejam também diversificadas quanto ao seu aspecto representacional e que a natureza desse conhecimento tenha igualmente relevância cultural, com implicações locais, sociais, pessoais ou tecnológicas (Tytler et al. apud Prain & Waldrip, 2006). Porém, para haver profundidade dos significados, diferentes representações dos conceitos e processos científicos devem ser trabalhadas e os estudantes precisam ser capazes de transformar e coordenar as representações que se encontram envolvidas com o conhecimento científico (Prain & Waldrip, 2006, p. 1844). Como o emprego de diferentes linguagens é próprio do discurso científico e a construção de uma forte compreensão de um conceito permanece ligada à extração do significado imanente às várias representações, então, é fundamental que os estudantes desenvolvam um entendimento dos diversos modos de representá-lo, não se tornando dependentes de um modo particular ligado a um tópico específico (ibid.). Assim, um ambiente instrucional de ensino das ciências centrado em multimodos e múltiplas representações é consistente com essa abordagem.

Antes de continuar é preciso esclarecer que ao se fazer alusão a representação multimodal se está a referir à integração no discurso científico de diferentes modos de representar o raciocínio, processos e descobertas científicas, com o objetivo de que os alunos apropriem o significado dos conceitos, conforme forem relacionando, isto é, compreendendo as diferentes formas representacionais (Tytler et al., 2007; Prain & Waldrip, 2006). Concretamente, para o ensino de

ciências isso consiste em submeter os alunos a diferentes modos de representação, sejam verbais, gráficos, tabulares, figurativos, diagramáticos, fotográficos, analógicos, metafóricos, cinestésicos como experimentos, maquetes (3-D) e gestos, matemáticos, filmicos etc. Por sua vez, a referência ao termo múltiplas representações designa a prática de representar um mesmo conceito ou processo científico em diferentes formas (Prain & Waldrip, 2006, p. 1844; Tytler et al., 2007, p. 314). Os modos representacionais são compreendidos como os meios ou “*recursos perceptivos*” (Radford et al., 2009, p. 91), por meio dos quais as diversas formas representacionais podem ser expressas, pensadas, comunicadas ou executadas.

Como dissemos, é consenso que os diferentes modos de representação apresentam diferentes eficácias e fraquezas em relação à precisão, clareza e capacidade de dar significado associativo às representações. Além disso, vimos, com outras palavras, que no momento em que estão aprendendo as ciências da natureza os estudantes se vêem de imediato com a tarefa de entender os diferentes aspectos das representações e seu uso integrado. Necessitam igualmente compreender que as diferentes representações encerram distintos propósitos, como o caso das representações gráfica, tabular ou algébrica usadas para indicar medidas extraídas num experimento com a finalidade de determinar a relação entre variáveis. Ora, aprender ciência envolve obrigatoriamente, então, um evidente desafio representacional em uma variedade de contextos. Todo conceito científico é, simultaneamente, um sinal num discurso semântico verbal, em um sistema operacional de significados de ação e em um sistema de representações matemáticas e visual (Lemke, 2003, p. 7). Seus significados simplesmente não se levantam da adição ou da justaposição de cada sistema de representação com os outros, mas da combinação integrada e da multiplicação do significado de cada um com o outro. Desta multiplicação decorre a grande força dos conceitos e pensamentos científicos e do encaminhamento do ensino para sua aprendizagem. Uma força que vem da capacidade de mobilizar raciocínios livremente e consistentemente pelo intercâmbio entre formas verbais, quantitativas, matemáticas, operações empíricas (cinestésicas), entre outras. A fim de que isso seja assegurado, os aprendizes necessitam passar por um processo centrado no professor de negociação das questões envolvidas com as representações, para consolidar entendimentos acerca das idéias científicas (Tytler et al., 2007, p. 313).

Uma diligência na direção da pluralidade de modos e formas de representação cumpre outros papéis fundamentais não discutidos, e que permanecem inerentemente ligados a qualquer situação instrucional. Não é difícil constatar que a dinâmica de ensino e aprendizagem em uma sala de aula é corrida e se dá em torno de um complexo ambiente de inúmeros acontecimentos. Da parte do professor, freqüentes falhas de comunicação com os alunos acontecem, sendo possível presenciar informações erradas, incompletas, insuficientes, ausentes, confusas, mal localizadas, ouvidas ou escritas, às vezes, adiantadas ao conteúdo de interesse, inconvenientemente misturadas, com defasagens temporais em relação aos conhecimentos dos aprendizes etc. Dentro disso, para o estudante acaba ficando o malabarismo da difícil tarefa de selecionar e unir num todo coerente e sintético a informação correta e chegar à compreensão do que o professor pretende. Afortunadamente, a linguagem humana é um sistema tolerante às falhas e incorpora uma grande redundância, especialmente quando se considera um período de tempo extenso (Lemke, 2003, p. 9). Em concordância com essa posição, Eco (2003, p. 124) lembra que o comportamento interativo está baseado em regras de redundância. Diz ele que se tivéssemos que escutar, ler e olhar cada expressão que nos é comunicada, analisando-as elemento a elemento, a comunicação seria uma atividade demasiadamente fatigante. Para funcionar um mecanismo de autocorreção durante a aprendizagem, os estudantes precisam ser capazes de integrar significados daquilo que está sendo comunicado. Para isso, Lemke (2003, p. 9) diz que é vital o emprego de diferentes abordagens semióticas pelo professor como recurso de comunicação. Tal encaminhamento oportuniza que modos de comunicação já percorridos sejam repetidos, revistos, corrigidos, aprofundados, combinados, integrados e coordenados a outros, favorecendo a ultrapassagem das falhas ou lacunas mencionadas. Nesse sentido, a propriedade de redundância multimodal não é um vício, mas uma virtude.

A importância das múltiplas dimensões semióticas que se vale a construção ou a aprendizagem do conhecimento científico, seja no nível do cientista ou do aprendiz respectivamente, mantém-se subordinada a um duplo, interdependente e inerente aspecto comum a toda comunicação, que são: a) Não há significação completa por si própria, mas ela se mantém dependente de diferentes fontes de informação e de um domínio contextual de experiências e significados. As circunstâncias⁵ favorecem diferentemente as diversas mensagens admitidas pelo sinal, o que significa que a atenção do receptor deveria estar dirigida pelas circunstâncias que o emissor tenta transmitir (Prieto, 1973, p. 19). Por conseqüência, toda comunicação faz assunções sobre o que o destinatário deverá saber, tomando-as como base para ulterior interpretação (op. cit.). Nessa mesma direção, Grize (apud. Duval, 2004, p. 91) complementa dizendo que não pode haver discurso cuja elaboração não leve em conta as representações reais ou supostas do seu destinatário presente ou virtual. Na realidade, no entender de Eco (2003, p. 124), estamos continuamente a antecipar as expressões de outrem, preenchendo espaços vazios dos textos, prevendo ou pressupondo palavras que o interlocutor dirá ou não deveria ter dito ou que nunca mesmo dirá. Mesmo simples proposições têm mais que um sentido, pois o seu status, que determina o lugar de uma proposição na organização discursiva de um conjunto de proposições ou o papel que joga na expansão discursiva, depende do contexto da enunciação (Duval, 2004, p. 97); b) Todo aquele que realiza uma interpretação acha um caminho diferente para o significado (Lemke, 2003). Por isso, os indivíduos não interpretam um texto de maneira semelhante, visto que partem de diferentes condições iniciais de conhecimentos, experiências e habilidades.

As colocações anteriores naturalmente justificam uma adicional orientação para as várias formas e modos de representação em interlocuções, tendo em vista a objetivação, posto que as mesmas não são completas e estão longe de serem prolixas. Esse traço da comunicação humana e particularmente da científica, conduz a que um significado somente se vê preenchido por integração de um somatório de significados levados pelas várias formas e modos comunicativos, sem que se desconsiderem os já elaborados no passado. O significado de cada palavra se enriquece pelo acúmulo do encontro de diferentes contextos, pela intersecção de muitas afirmações e pela confluência de muitos tipos, formas e modos discursivos. Toda palavra, assim como, cada figura, dígrama, equação, simbolismo envolvido por detrás das ações e procedimentos etc., pertence a um contexto e é parte de uma possível troca de significados entre diferentes membros de uma determinada comunidade.

A passagem pela pluralidade representacional e modos variados de linguagens é provocadora de sentido e de objetividade. Ao se considerar que a significação só é alcançada pela negociação de diferentes interpretações, justifica-se a afirmação de que ensinar é um diálogo (Lemke, 2003, 10), legitimando particularmente o uso instrucional do modo representativo oral. Todavia, dialogar com os estudantes ultrapassa a oralidade e permeia a multimodalidade e múltiplas representações a fim de que haja o cultivo de novos significados, a verificação e a regulação do caminhar dos pensamentos dos aprendizes. A alternância entre as funções dialógicas e univocal (Mortimer & Machado, 2000) inserida nesse sentido mais amplo permite aos que se encontram em processo de aprendizagem explicitar os seus significados, clarificá-los e precisá-los. Proporcionar que os aprendizes façam um esforço para exprimir não só em palavras, mas através de uma pluralidade representacional as suas representações mentais (Duval, 2004, p. 35) é dar chance para que seus conhecimentos sejam expressos, se coordenem, organizem, estruturem e se aprimorem. E aspectos chaves do conteúdo, ligações conceituais internas e entre representações podem ser identificados, priorizados, complementados e elaborados.

⁵ Como circunstâncias devem se entender todos os fatos conhecidos pelo receptor no momento em que se verificam relações sociais de informação, interrogação ou ordem (op. cit.).

Em havendo para cada sujeito um caminho particular para a construção de significados, um ensino plural em termos representacionais é igualmente compatível com o princípio pedagógico corrente que atenta para as necessidades e preferências individuais cognitivas, quando se pensa numa aprendizagem efetiva. Está-se a dizer com isso que um determinado modo representativo tem potencial de se tornar mais eficaz para iniciar ou aprimorar a elaboração das ideias de um particular aluno, auxiliando-o a ultrapassar obstáculos conceituais de representações mais abstratas e oficiais. A razão disso permanece atrelada às habilidades ou capacidade humana diferenciada e à história cognitiva construídas por cada sujeito, no instante instrucional específico. Um modo representacional é capaz, então, de se comportar tal qual um “andaime conceitual”, ao prover um apoio auxiliar para o sujeito construir o conceito almejado, assistindo-o na elaboração de novas representações. Gobert e Clement (1999, p. 49-50) constataam isso quando observam estudantes com preferências pela grafia na forma de desenho para aprender e que esse meio visual proporciona vantagens específicas sobre o textual. Ou Pacca et al. (2003) e Laburú et al. (2009) quando se utilizam de desenhos como forma de expressão das representações de estudantes no conteúdo de circuitos elétricos. Para a última pesquisa, a linguagem pictórica pretendeu funcionar como um mecanismo provisório, informal, intuitivo e evidente de representação pessoal, para descrever de forma natural objetos, fenômenos ou situações empíricas que estão começando a ser aprendidos. Seu uso tem a função de dar oportunidade aos estudantes para iniciarem o estudo do conteúdo de maneira qualitativa, espontânea e sem apreensão, desobrigando os alunos de estabelecer de imediato, códigos, algoritmos de tratamento, matematicidades e quantificações, os quais seriam paulatinamente elaborados após este primeiro contato com essa forma de expressão. A importância da interposição da linguagem de desenhos reside, segundo os autores de ambas as pesquisas, no incentivo e priorização da exploração conceitual, facilitando a conversação e a troca de ideias do professor com o aprendiz. Conversação e troca de ideias que costumam ser um obstáculo às simbologias oficiais, visto que estas últimas pressupõem o domínio das regras de formação e, por conseguinte, criam restrições à compreensão das regras de transformação, bem como dos conceitos a elas associados. Em razão desses pressupostos, os autores da última pesquisa afirmam que as representações por desenhos são capazes de potencializar a aprendizagem, pois se aproveita a intuição e os conhecimentos existentes dos aprendizes, evitando-se a recorrência às regras de formação dos códigos convencionais, o que torna possível priorizar a elaboração das regras de tratamento e dos conceitos correlatos das representações semióticas. Quanto à atividade de conversão do desenho para os símbolos oficiais, ainda é possível aproveitar-se da sua propriedade de congruência para reduzir o efeito de aprendizagens mal sucedidas (Duval, 2004, p. 50).

Não obstante, antes de prosseguir, é indispensável ressaltar que isto não significa fixar um estilo particular preferido de aprendizagem para cada aluno em específico, como lembram Prain e Waldrip (2006, p. 1845) ou mesmo Klein (2003). Pelo contrário, tal rigidez pedagógica violentaria os pensamentos anteriores que apóiam a diversidade representacional.

O valor da proposta multimodal para a educação científica é reconhecido uma vez mais quando se lembra da caracterização dos significados das representações em topológicos ou tipológicos. A linguagem verbal é um exemplo desta última. A característica tipológica é mais poderosa para expressar raciocínios semânticos, qualificar ideias ou realizar relações entre categorias. Opera primariamente por contrastes entre aspectos mutuamente exclusivos, sendo relativamente limitada e com poucos recursos para expressar significados quantitativos ou de grau. Por outro lado, quando se faz necessário estabelecer referências quantitativas, que necessitam expressar grau, as linguagens topológicas de tipo visual, como gestos ou desenhos, são recursos semióticos que melhor exprimem significados desta natureza e apresentam maior eficácia para isso do que a linguagem tipológica (Prain & Waldrip, 2006, p. 1845; Lemke, 2003, p. 12, 13).

Todos os aspectos levantados até este momento justificam que a exposição à multiplicidade representacional permite potencializar a promoção de uma riqueza associativa conceitual, ao mesmo

tempo em que também possibilita a descentração cognitiva (Vuyk, 1981, p. 24), sempre que, ao aprendiz, são oferecidos novos caminhos de pensamento para a compreensão de um processo, idéia, conceito ou linguagem que está em vias de construir ou tem dificuldades de ultrapassar. Como explanado, a consubstanciação de um conceito pelo trânsito intra e inter linguagens se dá, portanto, sob um cenário de negociada conversação, onde as interpretações das diferentes semiotizadas “vozes” possam confluir (Mortimer & Machado, 2000). Da interação professor e aluno se oportuniza a comparação mútua das interpretações de cada um, de modo a se conseguir, gradualmente, uma confluência das significações entre os diferentes interlocutores. Para isso, admite-se, conforme Bakhtin (apud Voloshinov, 1992), que qualquer entendimento verdadeiro é dialógico por natureza. Logo, qualquer compreensão genuína compartilha uma resposta orientada em relação ao contexto da enunciação de outrem e a cada palavra da enunciação que se está em processo de compreender faz-se corresponder uma série de palavras próprias; quanto mais numerosas e substanciais forem estas últimas, mais profunda e real será a compreensão. Nestes argumentos é possível se perceber uma concreta demonstração do uso da paráfrase, função cognitiva vinculada às regras internas de tratamento.

Os comentários em relação ao processo discursivo são reforçados quando se vê que dentre os sistemas semióticos empregados na comunicação, a linguagem oral tem evidente primazia. Para Lotman (apud Eco, 2003, p. 152), a linguagem oral, ou de maneira geral, a linguagem verbal poderia ser definida como o sistema modelizante primário do qual os demais são derivados. Ela é a maneira mais adequada através da qual o homem traduz especularmente os seus pensamentos, de modo que falar e pensar seriam áreas privilegiadas do investigar semiótico. Toda experiência humana e todo conteúdo exprimível por meio de outros artificios semióticos deveriam poder ser traduzidos em termos verbais, sem que o inverso fosse possível. Para Eco (2003), o linguajar verbal apresenta grande flexibilidade articulatória e combinatória, dando-lhe característica preferencial. Ele reconhece, entretanto, que outros artificios semióticos são capazes de cobrir porções do espaço semântico geral que a língua falada nem sempre consegue chegar, porém não deixa dúvida de que a linguagem verbal é o artifício mais poderoso, inclusive, um poder que decorre dela se valer da ajuda de outros sistemas semióticos (op. cit., p. 152).

Podemos mencionar pelo menos cinco motivos que levam à primazia da linguagem oral. Primeiro, ela se apresenta como uma habilidade natural e espontânea do ser humano, portanto, não precisa ser “ensinada”. Segundo, considerando o argumento de Bakhtin anterior, a verbalização pode ser um conveniente instrumento de acompanhamento e avaliação do conhecimento em processo de construção ou construído. Terceiro, partindo dessa possibilidade e em função da sua natureza dinâmica, correções e preenchimento de lacunas de aprendizagem podem ser prontamente realizados. Tal propriedade a diferencia de outras formas de comunicação, sendo convenientemente adequada para o ambiente de sala de aula, uma vez que permite um rápido mecanismo de realimentação para o professor diagnosticar e redirecionar a construção do conhecimento dos alunos. Quarto, o domínio dos registros simbólicos, por meio das atividades de formação, tratamento e conversão, ou das representações de forma geral, é fundamentalmente mediado pela palavra. Por fim, a oralidade tem a particularidade de mobilizar simultânea e coletivamente o compartilhamento da construção do conhecimento, o que favorece a descentração cognitiva. Em síntese, o modo oral é um canal de intercâmbio comunicativo privilegiado que permite aos aprendizes, em conjunto com o professor, exercitarem a argumentação e o pensamento crítico, ao mesmo tempo em que os capacita a processar, converter, coordenar e integrar as resemiotizações, ou seja, as transformações do conhecimento científico entre representações (Yore & Hand, 2010, p.94), na condução de uma atividade.

Para Ainsworth (apud Prain & Waldrup, 2006, p 1846), o engajamento em uma pluralidade de modos e formas representacionais sustenta a aprendizagem por três motivos: é conveniente para complementar ou reforçar, por confirmação, conhecimentos passados; propicia, por restrição, o

refinamento de uma interpretação ao limitar o foco do aprendiz sobre conceitos fundamentais; capacita-o a identificar um conceito ou abstração subjacente entre os modos ou dentro do mesmo modo de representação. E dentro das considerações que vimos fazendo anteriormente, a esses três motivos acrescentemos mais dois: determinados modos podem se adequar melhor a certos indivíduos, por servir-lhes de meio apropriado para compreender um conceito, devido à existência de esquemas conceituais já construídos por eles; a relação de ordem emocional que os aprendizes mantêm com o conhecimento é própria a cada um. Os últimos motivos levantados carregam dimensões de ordem cognitiva e subjetiva, respectivamente. A teoria da aprendizagem significativa é capaz de justificar a primeira dimensão, enquanto a segunda permite ser contemplada junto a trabalhos que apontam a importância dos aspectos subjetivos para as práticas de ensino e que se vêm sujeitas a comportamentos pessoais, atitudes, motivação e história de vida singulares dos aprendizes (Pask, 1976; Schonell et al., 1962; Shade, 1982; Baird & Mitchell, 1986; Swisher & Deyhle, 1987; Kempa & Martin-Diaz, 1990a e 1990b; Huber & Powewardy, 1990; Lawson, 2000). Dentro deste último aspecto, Gardner (1995, p. 15) lembra que existem imensas diferenças entre os indivíduos, pois a inteligência intrapessoal, que tem a ver com a capacidade que cada um de formar um modelo acurado e verídico de si mesmo e de utilizar esse modelo para operar efetivamente na vida, envolve o senso de si como aluno, com específicas potencialidades, dificuldades e características de estilos de ataque em suas buscas cognitivas. Decorre daí, que nem todos têm os mesmos interesses, habilidades e não aprendem da mesma maneira (op. cit., p. 16, 108, 147).

Quanto à dimensão cognitiva das múltiplas representações para sustentar a aprendizagem é possível encontrar argumentos à luz da teoria da aprendizagem significativa. Em linhas gerais, essa teoria afirma que a aprendizagem deveria partir de representações mais próximas do aprendiz, o que significa considerar a estrutura cognitiva prévia do aluno. Por essa razão, a diversificação das formas de representação proporciona condições mais favoráveis para que haja o estabelecimento de relações do conhecimento pré-existente do sujeito com o novo conhecimento a ser ensinado. Para Ausubel et al (1980), a aprendizagem significativa é o processo pelo qual uma nova informação ou um novo conhecimento se relaciona de forma não-arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva do aprendiz. Relacionamento não-arbitrário ocorre quando conhecimentos especificamente relevantes para o sujeito, denominados de subsunçores, vinculam-se ou se conectam ao conhecimento a ser aprendido. Os subsunçores permitem uma matriz ideacional (sic) e organizacional para incorporar, compreender e fixar novos conhecimentos (Ausubel apud Moreira, 1999, p. 77). Eles refletem uma relação de subordinação do novo material, relativamente à estrutura cognitiva pré-existente (Moreira, 1999, p. 31). Assim, ao oportunizar um ensino multimodal e, no caso, concentrado na aprendizagem que leve a conversão e coordenação de múltiplas representações, está-se a facultar para o sujeito formas representacionais mais intuitivas e assimiláveis, uma vez que modos e formas de representação específicos podem vir a funcionar como potenciais fontes de subsunçores para a construção de novos conceitos. Concomitantemente, um relacionamento substantivo do conhecimento tem a faculdade de ser impulsionado. Este relacionamento apresenta-se quando se passa a incorporar à estrutura cognitiva a essência do novo conhecimento, das novas idéias, não as palavras *ipsis letteris* usadas para expressá-las (ibid.). Isto acontece quando o mesmo conceito ou proposição é capaz de ser expresso em múltiplas representações, por meio de distintos signos ou de grupos de signos, análogos em termos de significado, não ficando os mesmos dependentes do uso particular de determinados signos (Ausubel apud Moreira, 1999, p. 78). Ademais, quando se está a falar em substantividade está-se a referir, nos termos de Bakhtin (apud Voloshinov, 1992), à compreensão genuína, com isso, a operação baseada na paráfrase acaba por se situar. Podemos dizer, por conseguinte, que uma aprendizagem com entendimento ou significativa é alcançada quando o aprendiz consegue mostrar desempenho na conversão e comunica equivalência de significados entre distintas representações, ao mesmo tempo em que é capaz de integrá-los em um discurso multimodal de representação, de tal forma que não permaneça dependente de um signo particular ou modo exclusivo de expressão (Duval, 2004, p. 42; Ausubel apud Moreira, 1999, p. 78; Ainsworth apud Prain & Waldrup, 2006, p. 1846).

De fato, como já vimos, o termo “estabelecer conexões” encontra-se no cerne das reflexões colocadas, na medida em que espelha a importância de se constituir relações no conhecimento. Para Hiebert e Carpenter (1992), o conhecimento é constituído por representações internas ou mentais que se conectam, formando redes de conhecimento. Para entender um conceito ou procedimento é preciso que a representação interna do estudante faça parte de um sistema simbólico de conhecimento. Durante a construção do conhecimento o número, a intensidade, o status ou relações hierárquicas das conexões feitas pela representação interna podem determinar com qual extensão e profundidade está sendo proporcionado o entendimento. Sob essa óptica, diferenças nas habilidades dos aprendizes em usar, reconhecer e hierarquizar conexões entre múltiplas representações de um conceito podem ser analisadas em termos das diferentes redes internas do conhecimento formado por eles frente ao tipo específico de instrução recebida (Patterson & Norwood, 2004, p. 7). Por meio da multimodalidade representacional e múltiplas representações se oportuniza que os estudantes criem representações mentais dos conceitos que os ajudem a formar melhores redes de conexões internas a respeito do conhecimento. Com isso, provê-se a possibilidade deles alcançarem níveis cognitivos mais elevados em seus pensamentos (Patterson & Norwood, 2004, p. 8). É pelo uso intencional de resemiotizações e negociação das transformações semióticas que se leva à construção de conexões para instaurar significâncias (Steinbring, 2006, p. 63). Os aprendizes ao criarem conexões referenciais entre elementos e estruturas correspondentes em diferentes representações, estão a construir vinculações nas e entre as diferentes representações e só assim são capazes de adquirir um mais profundo entendimento (Hand et al., 2009, p. 227).

Na realidade, o que tentamos defender com essas colocações é o fato de que uma proposta pedagógica baseada em múltiplas formas e modos de representação conjuga, simultaneamente, idiossincráticos aspectos cognitivos e subjetivos, ambos essenciais para uma aprendizagem com maior significado. Contrapõe-se a essa proposta a visão de inteligência que estabelece que todas as diferentes capacidades humanas se alimentam ou refletem uma única inteligência. Gardner (1995) vai de encontro a essa visão, provendo suporte teórico a mencionada proposta pedagógica. Ele entende que a capacidade do intelecto humano é plural visto reconhecer a existência de muitos fatores separados da cognição, ainda que sobrepostos, para operar, resolver problemas e elaborar produtos (p. 13, 42). Dentro de uma concepção pluralista da mente entende que cada indivíduo possui capacidades intelectuais múltiplas com desempenhos e combinações relativas e contrastantes que caracterizam o seu perfil próprio. Decorre dessas posições que ao se forçar o pensamento de alguém a fazer buscas pelo significado de um conceito por uma via representacional exclusiva deixa-se de aproveitar facetas de maior desenvoltura intelectual já possuídas ou que venham a amadurecer pela instrução.

Ao provocar variados modos e formas representacionais é possível potencializar as possibilidades de apreensão mais penetrante e extensa dos significados pretendidos, na proporção em que se aperfeiçoa a ocorrência de ressonâncias de certas capacidades de maior desenvoltura do aprendiz com representações que melhor lhe correspondam. O processo de significação se locupleta, primeiramente, por solidariedade entre diferentes semiotizações. Assim, as representações de maior dificuldade de compreensão de um indivíduo podem ser mediadas pelas que lhe são de domínio intelectual mais acessível e compreensível. Estas últimas servem de suporte para as representações culturais mais abstratas que devem ser apropriadas. Considerando que certos modos e formas de representação são de maior competência para cada sujeito, é virtualmente inevitável que grande parte dos estudantes acabe se sentindo incompetente quando apenas um padrão representacional é estabelecido para a obtenção dos significados. Oportunidades educacionais que combinam modos e formas representacionais variados, satisfazendo conseqüentemente distintos perfis individuais cognitivos e subjetivos, aumentam a ocasião dos estudantes realizarem seu potencial intelectual e, assim, haver uma aprendizagem com significado. Um segundo enriquecimento da significação se dá pelo ato de interação inter-sujeitos. Este acontece em razão de indivíduos com capacidades intelectuais relativas poderem demonstrar seus melhores

desempenhos em modos e formas representacionais. Dessa interação plural, com mistura de perfis de inclinações intelectuais distintos, nasce a possibilidade de um ambiente instrucional em que os significados podem ser gerados, aprofundados e aprendidos em direção ao entendimento, visto que deficiências de representação conceituais de cada um têm maiores chances de serem superadas e capacidades intelectuais singulares são passíveis de serem beneficiadas. Decorre, então, que as perícias representacionais de cada um auxiliam-se mutuamente.

Mas é preciso dizer que a cada meio cultural corresponde representações semióticas oficiais que lhe são próprias e que demonstram a força desses conhecimentos. Logo, as representações terminais a serem conquistadas são as pertencentes à cultura científica, onde todas as outras se vêm na obrigação de convergir. Não sendo essa condição satisfeita, é inevitável o prejuízo à apropriação dos significados dessas representações, que deveriam “falar por si mesmas” e não ficarem em um nível superficial, rígido e limitado dado pelas representações alternativas ou não-oficiais e de escassa capacidade explicativa.

Um professor hábil deveria estar sempre atento a adoção de várias atitudes em relação a um conteúdo, posto que os estudantes apresentam modos característicos próprios de aprendizagem, o que torna a aprendizagem mais atraente e efetiva possível, encorajando cada aprendiz a conhecer o conteúdo de mais de uma maneira, sob a ótica das múltiplas representações e tentando relacioná-las umas as outras (Gardner, 1995, p. 176). A escolha de um modo de apresentação de um conteúdo significa, em muitos casos, a diferença entre uma experiência educacional bem-sucedida e uma malsucedida (ibid., p. 67).

Também para Perales Palácios (2006, p.19a) há nítida ampliação da aprendizagem, sempre que o aprendiz dispõe de múltiplas formas para tratar uma informação. Em fim, prestar atenção à construção do registro simbólico, enquanto se estimula o trânsito e o empenho dos estudantes por diversos modos de representação para promoção dessa construção, é uma forma de patrocinar aproximações com as estruturas cognitivas individuais e contribuir para que a aprendizagem se torne não-arbitrária e substantiva. Com ações de ordem mais pontuais, capitaneadas por norteamentos de elementos semióticos específicos como os aqui expostos, supõe-se estar a elevar a habilidade dos alunos no coordenar do linguajar científico, pois aspectos cognitivos mais pertinentes e minuciosos, envolvidos com a construção simbólica e conceitual, permanecem como foco de reflexão do aluno. Por outro lado, junto a ações de ordem mais globais de natureza multimodal, está-se a propiciar um cenário para que as elaborações pontuais anteriores possam se desenrolar e desenvolver. Multimodalidade associadas a múltiplas representações tornam possível controlar, discriminar, entender e superar as recalcitrâncias ligadas à construção das unidades significantes próprias a cada registro científico, induzindo no aprendiz um discurso científico coerente, coordenado e integrado.

No marco do delineamento de um problema ou conhecimento científico, o êxito no trato da simbologia envolvida vai depender da articulação entre a apreensão operatória simbólica das representações e o manejo discursivo integrado das inferências em múltiplas representações, provocando a mobilização de uma rede de definições, conceitos e leis.

Considerações finais

Como mote do desenvolvimento deste trabalho tomou-se a trivial e inicial constatação de que a apreensão dos conhecimentos científicos e matemático não é dissociável de um domínio pelo aprendiz de uma extensa gama de representações. Circunstanciados pelo campo de estudo da semiologia e pela justaposição de diversas pesquisas em educação matemática e científica as reflexões empreendidas explicitaram e discutiram um conjunto de elementos teóricos com o intuito

de entender e localizar obstáculos ligados à aprendizagem das representações, responsáveis pelas dificuldades dos alunos frente ao ensino das ciências naturais. Sem dúvida que levantar e tomar consciência de tais elementos se tornam os primeiros passos para subsidiar ações pedagógicas com a finalidade de enfrentar os mencionados obstáculos, sempre que suas características e naturezas puderem ser previamente esperadas, identificadas e compreendidas.

Junto ao referencial semiológico foi possível discorrer a respeito de diferentes dimensões conceituais que vêm no sentido de auxiliar para que o ensino e a aprendizagem do conhecimento científico sejam mais efetivamente apropriados, desviando-se, assim, de preocupações de ordem epistemológica e de mudança de concepções errôneas, que foram aspectos comuns de investigação do vigoroso programa de pesquisa dos anos oitenta e parte dos noventa. A análise das fontes de dificuldades do aprendiz para com a compreensão desse conhecimento deve, por isso, observar a complexidade da dimensão conceitual ao mesmo tempo em que lança um olhar novo para as transformações e coordenação das representações e considera a organização intelectual dentro de um discurso integrado multimodal de representações.

A emergente área de pesquisa em múltiplas representações e multimodalidade (Yore & Hand, 2010, p. 93) vem permitindo compreender que o papel das representações semióticas está longe daquele confinado a designar objetos ou de poder ser identificado com o próprio objeto. Ele se encontra, sim, no uso das diferentes representações, o que significa estar determinado pela possibilidade cognitiva e subjetiva de seu processamento, ante propriedades espaciais e temporais peculiares e ante estilos de aprender e de expressão particulares, respectivamente. Sempre que se empregam representações pode-se alterá-las para outras sem que obrigatoriamente se esteja suportado em novos dados ou observações empíricas. Isto quer dizer, em outras palavras, que o ato de re-representação é atividade que pertence à esfera exclusivamente semiótica. Tais mudanças ficam na dependência do sistema semiótico dentro do qual a representação é produzida, uma vez que cada sistema é funcionalmente diferente de outro e provê possibilidades cognitivas bem específicas para perfazer os processos matemáticos, verbais, figurativos, 3-D, cinestésicos etc. É compreensível, então, porque uma marca não funciona com signo, estando fora do sistema semiótico em que o seu significado assume a sua identidade, e nem se deixa colocar em oposição a outros signos dentro do mesmo sistema. Daí a necessidade de regras para produzir representações semióticas científicas, com um olhar normativo discrepante do ordinário. Este é um problema corriqueiro entre os estudantes quando enfrentam mudanças de representação da linguagem natural para a convencional simbólica e que não pode ser tratado como simples questão conceitual ou de tradução de códigos, mas como um problema que pertence à complexidade e à especificidade cognitiva envolvida com o processo de transformação semiótico.

Todo empenho semiótico se reduz, então, em como fazer com que os estudantes das ciências percebam os traços opostos básicos que são matemática, física, química e biologicamente relevantes e cognitivamente significantes. Uma resposta para isso passa pelo enfrentamento pelos aprendizes de variações representacionais e submissão multimodal. Ambos são caminhos necessários para que se dê conta do que é fundamental numa representação, dissocie-se objeto representado do conteúdo das representações e se execute coordenadamente conversões e transformações, portanto, possibilitando significações mais elevadas.

A consideração de elementos semióticos permite lograr avanços nas pesquisas em ensino de ciências, assim como, de maneira pioneira, vem ocorrendo na educação matemática. A semiótica oferece novas e diferentes perspectivas para uma nova e fértil área de investigação e que podem ser traduzíveis em procedimentos concretos para um melhor alinhamento entre ensino e aprendizagem de tal forma que o primeiro esteja a serviço do segundo, fornecendo orientações pedagógicas para a prática cotidiana de sala de aula. Sua inclusão simbiótica com estratégias pedagógicas modernas baseadas na negociação, na dialogicidade, junto à relevância de uma produção própria de formas e

modos de representação pelos aprendizes, são exemplos da potencialidade exploratória de investigações compromissadas em atingir mais densas aprendizagens.

Para concluir, a esperançosa mensagem pedagógica a ser deixada e que futuras pesquisas não de sancionar é a seguinte. Se a direção para o domínio de uma rede conceitual científica é uma profunda procura fundada na coordenação de vários registros de representação e encontro de diferentes modos de representar os discursos científicos em um raciocínio consistente e integrado, por conseguinte, o encontro, acúmulo e confluência de diferentes contextos e formas discursivas, provocadas por uma estratégia multimodal de transformações de representações, tende a vencer os problemas arrolados com as atividades de representação e conceituação. Desta forma, fica como objetivo o foco na construção de sentidos profundos das representações na medida em que os seus significados vão sendo capturados pela conversão de múltiplas representações e pela intersecção multimodal.

Bibliografia

Allie, S. et al. (1998). First year physics student's perceptions of the quality of experimental measurements, *International Journal of Science Education*, 20(4): 447-459.

Arruda, S. M., Silva, M.R. & Laburú, C. E. (2001) Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhiana. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(1):1-9.

Ausubel, D. Novak, J. Hanesian, H. (1980). *Psicologia Educacional*, Rio de Janeiro, Interamericana.

Baird, J.R. & Mitchell, I.J. (Eds.). (1986). Improving the quality of teaching and learning: an australian case study - *the PEEL project*, Monash University, Melbourne.

Bakhtin, M. (V. N. Voloschinov). (1992). *Marxismo e Filosofia da linguagem: problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem*, São Paulo, Hucitec.

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.

Castellani, E. & Castellani, L. (2005). A mediação de dyson. *Scientific American Brasil*, Gênios da Ciência: Feynman, Duetto Editorial, São Paulo, 60-65.

Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1):1-49.

Clement, J. Brown, D. & Zietesman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11(5):554-565.

Colin, P. & Viennot, L. (2002). Reading images in optics: students' difficulties and teachers' views. *International Journal of Science Education*, 24(3):313-332.

Duit, R. (2003). Conceptual Change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6):671-688.

Duit, R. & Von Rhöneck, C. (1997). *Learning and understanding key concepts of electricity*, <<http://www.physics.ohiostate.edu/~jossen/ICPE/c2html.1997>>, acesso: 14 de maio de 2006.

Duval, R. (2004). *Semiosis y pensamiento humano: registros semióticos y aprendizajes intelectuales*, Universidad del Vale, Instituto de Educación y Pedagogía, Santiago de Cali, Colombia.

- Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61:103-131.
- Eco, H. (1985). *O signo*, Editorial Presença, LDA., Lisboa.
- Eco, H. (2003). *Tratado geral de semiótica*. Estudos, Editora Perspectiva S. A., São Paulo.
- Elia, I., Panoura, A. Eracleuous, A. & Gatasis, A. (2007) Relations between secondary pupil's conceptions about functions and problem solving in different representation, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3:533-556.
- Fidalgo, A. (1998). *Semiótica: a lógica da comunicação*. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, www.bocc.ubi.pt.
- Freitas, M.T.A. (1995). *Vygotsky & Bakhtin. Psicologia e Educação: um intertexto*. 2ª ed. São Paulo: Ática.
- Garcia, R. (1982). *El desarrollo del sistema cognitivo y la enseñanza de las ciencia*. Rev. Consejo Nacional Tecnológica de la Educación, 42, México.
- Gardner, H. (1995). *Inteligências múltiplas, a teoria na prática*, Artmed, Porto Alegre.
- Gobert, J. & Clement, J. (1999). The effects of student-generated diagram versus student-generated summaries on conceptual understanding of spatial, causal and dynamics knowledge in plate tectonics. *Journal of Research in Science Education*, 36:39-50.
- Hand, B., Gunel, M. & Ulu, C. (2009). Sequencing embedded multimodal representations in a writing to learn approach to the teaching of electricity, *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3):225-247.
- Hiebert, J., & Carpenter, T. P. (1992). Learning and teaching with understanding. In D. Grouws (Ed.), "*Handbook for research on mathematics teaching and learning*" (pp. 65-97). New York: MacMillan.
- Huber, T. & Powewardy, C. (1990). *Maximizing learning for all students: A review of the literature on learning modalities, cognitive styles and approaches to meeting the needs of diverse learners*. Washington, DC: ERIC Clearinghouse on Teacher Education (ED 324-289).
- Kempa, R. F. & Martin-Diaz, M. (1990a). Student's motivational traits and preference for different instructional modes in science. Part 1. *International Journal of Science Education*, 12:194-203.
- Kempa, R. F. & Martin-Diaz, M. (1990b). Student's motivational traits and preference for different instructional modes in science. Part 2. *International Journal of Science Education*, 12:205-216.
- Klein, P.D. (2003). Rethinking the multiplicity of cognitive resources and curricular representations: alternatives to "learning styles" and "multiple intelligences". *Journal of Curriculum Studies*, 35:45-81.
- Kubli, F. (2005). Science teaching as a dialogue – bakhtin, vygotsky and some application in the classroom. *Science & Education*, 14:501-534.
- Laburú, C. E. Gouveia A. A. & Barros, M. A. (2009). Estudo de circuitos elétricos por meio de Desenhos dos alunos: uma estratégia pedagógica para explicitar as dificuldades conceituais, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 26(1):24-47.
- Larcher, c., Séré, M-G., & Journeaux, R. (1994). Difficultés dans l' apprentissage du mesurage. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2):217-225.
- Lawson, A. E. (1988). The acquisition of biological knowledge during childhood: cognitive conflict or tabula rasa? *Journal of Research in Science Teaching*, 25:185-199.

- Leites, L. M.; Bernaroch, B. A. & Perales, F. J. P. (2008). Las imágenes sobre enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa, *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2):153-176.
- Lemke, J. L. (2003). Teaching all the languages of science: words, symbols, images, and actions, recuperado 1 de fevereiro de 2007 do: <<http://www-personal.umich.edu/~jaylemlke/papers/barcelon.htm>>.
- Mayer, R. E. Y Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words. *Journal of Educational Psychology*, 82(4):715-726.
- Medeiros, A. & Medeiros, C. (2001). Questões Epistemológicas nas Iconicidades de Representações Visuais em Livros Didáticos de Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1):103-117.
- Montagna, P. (s.d.). O Eu e o mundo, Melanie Klein: a aplicação dos limites da vida psíquica, *Viver Mente & Cerebro*. Coleção Memória da Psicanálise, Edição Especial nº 3, Duetto Editorial, São Paulo, 60 -65.
- Moreira, M. A. (1999). *Aprendizagem significativa*. Brasília, DF, Editora Universidade de Brasília.
- Mortimer, E.F. & Machado, A.H. (2000). Anomalies and Conflicts in Classroom Discourse. *Science Education*, 84:429-444.
- Oliveira, M. K. (1993). *Vygotsky, aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico*. Série Pensamento e Ação no Magistério. Editora Scipione, São Paulo.
- Osborne, R. J. & Wittrock, M.C. (1983). Learning science: a generative process. *Science Education*, 67(4):489-508.
- Otte, M. (2006). Mathematical epistemology from a peircean semiotic point of view, *Educational Studies in Mathematics*, 61:11-38.
- Pacca, J. L. A. et al. (2003). Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(2):151-167.
- Panaoura, I. E., Eracleous, A. & Gagatis, A. (2007). Relations between secondary pupils' conceptions about functions and problem solving in different representations. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5:533-556.
- Pask, G. (1976). Styles and strategies of learning. *British Journal of Educational Psychology*, 46: 128-148.
- Patterson, N. D. & Norwood, K. S. (2004). A case study of teacher beliefs on students' beliefs about multiple representations, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2:5-32.
- Perales Pallacios, F. J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 1, 13-30.
- Pintó, R. & Ametller, J. (2002). Students' difficulties in readings images. Comparing results from four national research groups. *International Journal of Science Education*, 24(3):333-341.
- Prieto, L. J. (1973). *Mensagens e sinais*, Editora Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2): 221-227.
- 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.

- Radford, L. Bardini, C. & Sabena, C. (2007). Perceiving the general: the multisemiotic dimension of student's algebraic activity. *Journal for Research in Mathematics Education*, 38(5):507-530.
- Radford, L., Edwards, L. & Arzarello, F. (2009). Introduction: beyond words, *Educational Studies in Mathematics*, 70:91-95.
- Rego, T. C. (1998). *Vygotsky: Uma Perspectiva Histórico-culturais da Educação*. Editora Vozes, 6ª Edição.
- Scott, R., Asoko, H. M. & Driver, R. (1991). Teaching for conceptual change: a review of strategies. In: *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremem*, Duit, R. et al.(Eds), 310-329.
- Shade, B. (1982). Afro-American cognitive style: A variable in school success. *Review of Educational Research*, 52(2):219-244.
- Schonell, F.J., Roe, E. & Meddleton, I. G. (1962). *Promise and performance*. Brisbane and London, 218-221.
- Steinbring, H. (2006). What makes a sign a mathematical sign? An epistemological perspective on mathematical interaction, *Education Studies in Mathematics*.
- Swisher, K. & Deyhle, D. (1987). Styles of learning and learning of styles: Educational conflicts for American Indian/Alaskan native youth. *Journal of Multilingual and Multicultural Development*, 8 (4):345-360.
- Stylianidou, F., Ormerod, F. & Ogborn, J. (2002). Analysis of science textbook pictures about energy and pupils' readings of them. *International Journal of Science Education*, 24(3):257-283.
- Tyler, R., Prain, V. & Peterson, S. (2007). Representational issues in students learning about evaporation. *Research in Science Education*, 37:313-331.
- Voloshinov, V. N. (1992). *Marxismo e filosofia da linguagem*. São Paulo, Hucitec.
- Vuyk, R. (1981). *Overview and critique of Piaget's genetic epistemology 1965-1980*. Volume 1 e 2, Academic Press, London.
- Waldrip, B., Prain, V. & Carolan, J. (2010). Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science, *Research in Science Education*, 40:65-80.
- 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.

Recebido em: 25.03.10

Aceito em: 25.08.11