

As Três Dimensões do Conhecimento Químico e a Contribuição da Teoria dos Signos.

Jackson Gois (jackgois@usp.br) * (PG), Marcelo Giordan (PQ)

¹Faculdade de Educação – USP - Av. da Universidade, 308 - Cidade Universitária – São Paulo – SP – 05508-900.

Palavras Chave: ensino, química, semiótica

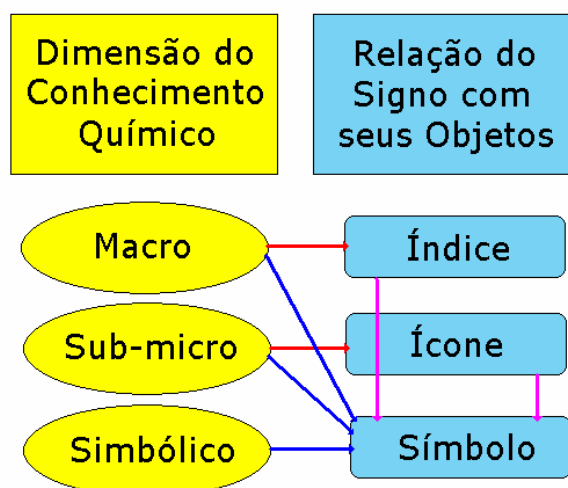
Introdução

Há um certo consenso em torno da idéia de o conhecimento químico ser construído pela combinação de três dimensões da realidade: macroscópica, sub-microscópica e simbólica (Johnstone, 1993). A teoria semiótica propõe que o conhecimento humano pode ser representado pela tríade signo, objeto e interpretante (Peirce, 2005). Um signo é tudo aquilo que representa algo para alguém, como por exemplo, sinais escritos e gestuais, desenhos, símbolos, situações ou imagens. O objeto é o que está sendo representado pelo signo, podendo existir concretamente ou não, e o interpretante é o signo equivalente ou mais desenvolvido criado na mente da pessoa, relacionado aos construtos teóricos do conhecimento humano. Considerando as relações do signo com seu objeto, existem três tipos de signo: ícone, índice e símbolo. Esta classificação se refere ao modo como o signo promove seu significado através de sua relação com o objeto, respectivamente, por semelhança, por indicar existência, ou por se relacionar diretamente com o interpretante. Neste trabalho analisamos as formas de referência às dimensões do conhecimento químico a partir das contribuições da teoria semiótica de Peirce (2005). Descrevemos como cada dimensão do conhecimento químico promove significação, levando em consideração a fala como ferramenta cultural.

Resultados e Discussão

Todas as palavras são signos do tipo simbólico, uma vez que as mesmas podem ser plenamente compreendidas de forma isolada. Dentro do contexto de sala de aula, no entanto elas ganham um significado próprio, conforme o tipo de dimensão do conhecimento químico em questão. Na dimensão macroscópica do conhecimento químico a relação entre os signos e seus objetos são predominantemente do tipo indicial e simbólica, e o desejo dos professores é que estas referências se tornem principalmente simbólicas. Ainda nesta dimensão a transição do tipo de referência indicial para simbólica é facilitada porque a referência de partida está num âmbito concreto. Na dimensão sub-microscópica a relação entre os signos e os objetos são predominantemente do tipo icônicas e simbólicas, sendo desejável o tipo de referência

apenas simbólica. Neste caso a transição é dificultada porque a referência de partida está em um âmbito virtual, e o ponto de chegada também. No caso da dimensão simbólica do conhecimento químico, os três tipos de relação entre signos e objetos estão presentes: as indiciais, as icônicas e as simbólicas. Isto traz maior dificuldade para os estudantes pois não sabem qual das três formas é a correta para o significado desejado em sala de aula. Ainda nesta dimensão do conhecimento químico, a transição dos três tipos de referência, que são virtuais, para uma do tipo simbólica, também virtual, também traz dificuldade para a compreensão dos estudantes.



Conclusões

A partir da análise feita neste trabalho, obtivemos formas características de referência a cada dimensão, que podem constituir uma nova categoria de análise de unidades de ensino.

Johnstone, A.H. The Development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *J.Chem. Educ.* **1993**, 70, 701-704.

Peirce, C.S. (2000). *Semiótica*. São Paulo. Ed. Perspectiva (3a ed). 2000

Introdução

A importância da linguagem na constituição do pensamento tem sido amplamente debatida nos meios acadêmicos. Uma das principais contribuições de Vigotski para a psicologia do desenvolvimento é a noção de mediação, com a hipótese de que no plano mental existem construtos que exercem funções mediadoras, chamados por ele de ferramentas psicológicas (Vigotski, 1981), ou ferramentas culturais na concepção da ação mediada (Wertsch, 1998). A partir disso, na perspectiva da teoria da ação mediada, as ações humanas, sejam elas externas – entre indivíduos – ou internas – no plano mental – são mediadas por ferramentas culturais que estruturam as ações e as determinam.

Quando se trata da organização do ensino, a teoria da ação mediada coloca em destaque a fala como principal mediador das atividades da sala de aula. É através da fala que o professor propõe e executa as atividades, expondo idéias, conduzindo ou coordenando tarefas, apresentando o plano de aulas e o caminho já percorrido. Na sala de aula, a fala é o principal instrumento de organização das atividades de ensino, não apenas por mediá-las, mas fundamentalmente por servir de suporte à construção do pensamento, constituindo-se como principal ferramenta para estruturar e constituir as atividades de ensino. Desta forma, a fala é uma importante ferramenta na situação de ensino, porque o exercício da interlocução entre professores e alunos é que abre caminho para a constituição de um espaço de construção coletiva do conhecimento. Apesar de o conhecimento, na forma do pensamento e das funções mentais superiores, não se constituir em um espaço comum no grupo de professores e estudantes, pertencendo apenas a indivíduos, a coletividade pode ter em comum a fala. O exercício desta importante ferramenta cultural com o intuito do compartilhamento de significados pode se constituir num forte instrumento de promoção do aprendizado.

A semiótica, que tem por objeto de estudo todas as linguagens possíveis (Santaella, 2005), também traz importantes contribuições para o entendimento do papel da linguagem nas ações humanas. De uma forma especial, o estudo do fenômeno de promoção de significado e sentido são importantes para uma melhor compreensão das ações que ocorrem no ambiente de ensino.

Neste trabalho analisamos as formas de referência às dimensões do conhecimento químico a partir das contribuições da teoria semiótica de Peirce (2005). Descrevemos como cada dimensão do conhecimento químico promove significação, levando em consideração a fala como ferramenta cultural. A partir desta análise, obtivemos formas características de referência a cada dimensão, que podem constituir uma nova categoria de análise de unidades de ensino.

As dimensões da realidade no conhecimento químico

Há um certo consenso em torno da idéia de o conhecimento químico ser construído pela combinação de três dimensões da realidade: macroscópica, sub-microscópica e simbólica (Johnstone, 1993; Gabel e Bunce, 1994; Garnet et al. 1995; Dori et al., 1996; Gabel, 1998; Bowen, 1998; Ardac e Akaygun, 2004). Parte dos fenômenos e processos químicos são perceptíveis e observáveis através de informações sensoriais e medições que se concretizam em uma dimensão macroscópica. Dentro do paradigma atômico-molecular vigente, no qual a natureza particulada da matéria é a fundamentação teórica para interpretar esses fenômenos e processos, admite-se uma outra dimensão da realidade onde ocorrem fenômenos envolvendo o movimento e a interação de partículas. Em uma dimensão simbólica, substâncias, partículas e transformações são

representadas por meio de símbolos, fórmulas e equações químicas, bem como expressões algébricas, tratando-se portanto de uma materialização semiótica da realidade.

Segundo Hoffman e Laszlo (1991), as representações simbólica e sub-microscópica evoluíram de analogias fenomenológicas de experiências sensoriais no nível macroscópico, as quais permitem aos químicos terem uma linguagem comum para sua investigação conjunta e são utilizadas para a comunicação entre profissionais da comunidade (Kozma, Chin, Russel e Marx, 2000). Ainda de acordo com Hoffman e Laszlo, as representações químicas são metáforas, modelos ou construtos teóricos da interpretação química da natureza e da realidade, com o que está de acordo Nye (1993) que também sugere serem essas características determinantes da formação de um pensamento que diferencia a Química de outras ciências.

Professores e pesquisadores do ensino de química têm realizado estudos sobre como promover o entendimento conceitual em estudantes do ensino médio (Wu, 2001) e superior (Kozma e Russel, 1997) através do desenvolvimento da habilidade de representação das três dimensões do conhecimento químico. Nestes estudos percebeu-se que os estudantes parecem dominar as construções simbólicas da química tratando equações como processos matemáticos, ao invés de pensar nas mesmas representações de processos dinâmicos e interativos. Outras pesquisas apontam para o fato de estudantes poderem elaborar a resposta correta para problemas em química tendo apenas um entendimento conceitual limitado (Sawyer, 1990; Smith e Metz, 1996), sem que tenham se apropriado, por exemplo, da simbologia associada. É neste sentido que se tem defendido a resolução satisfatória de problemas desafiando o estudante a se apropriar de dispositivos de pensamento da química, o que é observado em situações que os permitam correlacionar o fenômeno em sua dimensão macroscópica com a representação simbólica e sub-microscópica.

Estudos também apontam para o fato de estudantes de ensino médio e superior apresentarem dificuldade para compreender fenômenos e transformações químicas em termos do modelo de partículas atualmente aceito (Garnet et al., 1995). Alguns autores têm interpretado estas dificuldades de aprendizagem como oriundas da natureza particulada, abstrata e não observável da química, e da necessidade de rápida transferência entre os três níveis de representação (Johnstone, 1991; Gabel et al., 1992).

Existe uma dificuldade maior por parte dos estudantes na compreensão do nível sub-microscópico e na representação do nível simbólico, pelo fato de as mesmas serem invisíveis e abstratas. Desta forma, devido ao pensamento dos estudantes se basear em informações sensoriais, os mesmos têm a tendência em permanecer no nível macroscópico em suas explicações sobre os fenômenos e propriedades de substâncias (Ben-Zvi, Eylon e Silberstein, 1987; Ben-Zvi, Eylon e Silberstein, 1988; Griffiths e Preston, 1992).

Professores, pesquisadores e profissionais da química operam apropriadamente entre as dimensões do conhecimento, enquanto estudantes têm dificuldade em estabelecer ligações entre estes níveis. Desta forma, parece bastante provável que a utilização de modelos, analogias e gráficos computacionais em situações estruturadas de ensino seja produtiva para os estudantes se apropriarem das formas de pensamento químico, conforme alguns estudos têm sugerido (Wu, 2003; Giordan e Gois, 2004)

Os químicos desenvolveram uma variedade de representações, tais como modelos moleculares, estruturas químicas, fórmulas, equações e símbolos, para investigar fenômenos da natureza (Hoffman e Laszlo, 1991). Em cada dimensão do conhecimento químico as representações desempenham uma parte importante porque apresentam as informações de forma parcialmente esquematizada e parcialmente icônica, aplicando convenções tanto para ilustrar os componentes quanto sua organização (Hegarty, Carpenter e Just,

1991). Algumas destas representações apresentam espacialmente as imagens de partículas e suas formas geométricas em duas ou três dimensões de forma a compor uma linguagem espacial (Balaban, 1999; Habraken, 1996; Nye, 1993). Elas apresentam informações que não podem ser facilmente entendidas de outra forma (Larkin e Simon, 1987) e permitem químicos pensarem visualmente e expressarem informação eficientemente em um formato visual.

Pelo fato de a química se utilizar de uma linguagem escrita e falada tão relacionada com a utilização de símbolos, é importante trazermos para este trabalho uma abordagem que considere explicitamente o papel dos signos na composição do conhecimento humano.

Semiótica: a relação dos signos com os objetos do conhecimento químico

A teoria semiótica propõe que o conhecimento humano pode ser representado pela tríade signo, objeto e interpretante (Peirce, 2005). De acordo com o próprio Peirce, um signo é tudo aquilo que representa algo para alguém, como por exemplo, sinais escritos e gestuais, desenhos, símbolos, situações ou imagens. Por signo entende-se tudo aquilo que está relacionado com uma segunda coisa e que a representa, no caso, o seu objeto, existindo concretamente este último ou não. A mediação é a principal característica dos signos. Ainda de acordo com Peirce, o signo dirige-se a alguém, isto é, cria na mente dessa pessoa um signo equivalente ou mais desenvolvido, denominado interpretante, que está relacionado aos construtos teóricos existentes nas mentes de quem pratica as mais variadas formas de conhecimento. Desta forma o signo está diretamente relacionado ao seu objeto e ao seu interpretante.

Os signos podem ser classificados sob três possíveis ângulos: suas relações consigo mesmo, com seus objetos ou com seus interpretantes (Santaella, 2005). Escolhemos relacionar as dimensões da realidade, anteriormente descritas, com as possíveis relações dos signos com seus objetos por dois motivos. Em primeiro lugar esta escolha foi feita porque esta relação descreve de que forma o signo promove seu significado (Peirce, 2005) na sua relação com o objeto. Nas três dimensões da realidade que compõe o conhecimento químico existem formas gráficas e fonéticas peculiares quando ocorrem as representações dos objetos de conhecimento. O modo como estas representações promovem seus significados, e a interpretação das ações que tem lugar durante o desenvolvimento das unidades de ensino, são questões importantes no ensino da química.

Em segundo lugar, o campo coletivo na situação de ensino e aprendizagem, ou seja, a parte que pertencente ao professor e ao estudante, está no âmbito dos signos e seus objetos, pois os interpretantes estão nas mentes de cada participante da situação de sala de aula e pertencem apenas aos indivíduos. Já os signos e seus objetos pertencem à coletividade da sala de aula e são acessíveis a ambos os lados do processo de ensino e aprendizagem. Com isso o campo de ação do professor neste processo deve ser entendido como um campo comum a dois lados, de onde se pode extrair importantes relações na aplicação de seqüências de ensino.

Considerando as relações do signo com seu objeto, existem três tipos de signo: ícone, índice e símbolo (Peirce, 2005, pp. 10, 28, 47). Os signos que têm o poder de significação por ostentar alguma semelhança com o seu objeto, semelhança esta visual ou de propriedades, são chamados de ícones. Como exemplo de ícone dentro do conhecimento químico, podemos sugerir um objeto molecular do tipo bola-vareta de uma espécie química qualquer. Este tipo de representação tem a intenção explícita de enfatizar a

descontinuidade da matéria nas unidades discretas do átomo, bem como a tridimensionalidade de determinada molécula sob a luz do atual conhecimento sobre a natureza particulada da matéria. Desta forma, por semelhança com as teorias de Dalton sobre a descontinuidade da matéria, e de Lewis sobre os pares eletrônicos, as bolas simbolizam os átomos e as varetas as ligações químicas. Os ícones não promovem seu significado por apontar para o objeto, nem da sua relação com o interpretante, mas apenas de sua semelhança com o objeto. Em nosso exemplo de ícone, qualquer pessoa sem o mínimo conhecimento químico (interpretante) e mesmo sem nunca ter visto uma molécula (objeto), através de suas propriedades, poderá identificar unidades discretas distintas separadas por algo que as liga, que é a intenção principal do modelo.

Os signos que obtêm significação em virtude de uma ligação física direta com o objeto, indicando sua existência, são chamados de índices. Como exemplo de índice, dentro do conhecimento químico, podemos citar a utilização do símbolo do elemento químico carbono (C) no contexto de uma aula sobre elementos químicos. Tão logo o professor utilize esta simbologia, a atenção será dirigida para o elemento químico carbono, que no momento, geralmente tem apenas o nome como principal propriedade. Os índices promovem seu significado pelo fato de apontarem para o objeto e de serem afetados por ele. A ausência de objeto acarreta a perda do significado pretendido. No caso da aula de elementos químicos, se o professor não explicar com antecedência que a letra 'C' representa o elemento químico carbono, a escrita da mesma não será de nenhuma utilidade para a significação pretendida. Os índices não dependem do interpretante, uma vez que apenas apontam para outro signo, obtendo assim seu significado. No caso da nossa aula de elementos químicos citada como exemplo, se estivesse presente um estudante que não conhecesse o idioma local, mesmo assim poderia compreender plenamente que a letra 'C' maiúscula estaria se referindo a um outro nome (carbono).

Finalmente, os signos que são associados aos seus objetos em virtude de uma lei ou convenção são chamados de símbolos. Todas as palavras são símbolos porque não denotam coisas em particular, mas espécies de coisas, próprios a sua língua de origem. Como exemplo de símbolo podemos citar a palavra 'fósforo' numa aula sobre elementos químicos. Antes mesmo de o professor explicar a existência de um elemento químico com este nome, ao ser pronunciada esta palavra vem à mente do estudante a idéia cotidiana do fósforo de acender fogo. Não é necessário que se apresente algum objeto que mostre o significado desta palavra na língua portuguesa, pois o mesmo já existe na mente do estudante. A palavra sozinha não denota um palito de fósforos em particular ou o elemento químico fósforo, mas um tipo ou algumas possibilidades de tipo de objeto de conhecimento. Os símbolos dependem do interpretante porque é nele que reside a lei de associação ao objeto. Não dependem de si mesmos, como no caso dos ícones, para promover o significado porque não têm qualquer semelhança com o objeto. E não dependem de estar indicando fisicamente o objeto no instante em que são proferidas (como no caso dos índices), porque já existe uma associação da palavra com a idéia em questão.

Inicialmente toda forma de referência na sala de aula é simbólica, uma vez que são utilizadas palavras como meio de referência aos objetos de conhecimento, a menos que o professor tenha diante de si o laboratório químico ou o quadro negro, pois desta forma poderá apontar para objetos ou diferentes formas de grafia e promover significação de forma indicial. Se considerarmos apenas o âmbito de significados da língua portuguesa, toda forma de referência falada é simbólica, uma vez que os estudantes certamente

compreenderão isoladamente quase todas as palavras que forem faladas. Dentro dos significados da química, no entanto, estas formas de referência podem ser simbólicas, indiciais ou icônicas, conforme descrito acima.

Ainda de acordo com Peirce, é difícil, senão impossível, encontrar algum signo desprovido da qualidade indicial. Semelhantemente, dentro do conhecimento químico, os mesmos signos poderão assumir qualidade indiciais, icônicas e simbólicas, dependendo do contexto em que são aplicados. O desejo dos educadores é que o ensino promova a migração das relações de qualidades indicial e icônica dos signos próprios do conhecimento químico, para uma relação de qualidade simbólica, ou seja, que os signos alcancem seus significados por se relacionarem com construtos teóricos presentes nas mentes dos estudantes.

Uma dificuldade freqüente dos estudantes nas aulas de química é a de não entenderem o que o professor está dizendo. Quando profissionais da química se comunicam entre si não há necessidade de se explicitar se as referências são feitas ao nível macroscópico, sub-microscópico ou simbólico, pois os mesmos operam apropriadamente entre todos os níveis. As referências a cada uma das dimensões do conhecimento são plenamente compreendidas pelos interlocutores, uma vez que conseguem transitar amplamente por todos eles. Os estudantes geralmente sentem dificuldade de entender a qual dimensão do conhecimento os profissionais se referem quando é necessário transitar entre os mesmos.

Considerando individualmente a dimensão simbólica, macroscópica e sub-microscópica do conhecimento químico, quais são os tipos de relação semiótica que prevalecem entre os signos e seus objetos? Passamos a analisar, sob a visão dos tipos de relação de qualidade dos signos, as formas de referência a cada uma das três dimensões do conhecimento químico.

A dimensão macroscópica do conhecimento químico, conforme descrito acima, trata dos fenômenos e processos que são perceptíveis e observáveis através de informações sensoriais e medições, como variação térmica, cores e cheiros em um laboratório. Os professores se referem a este nível de conhecimento, com muita freqüência, de forma oral após uma aula de laboratório. Neste caso são as palavras que constituem os signos a serem compartilhados pelo professor. Quando o professor fala sobre determinadas cores visualizadas, ele está se referindo a eventos específicos já conhecidos. Este tipo de informação é facilmente apreendido pelos estudantes, de forma que nas séries iniciais onde ocorre o contato com a química, aquilo que primeiro chama a atenção e provoca curiosidade são as informações trazidas do laboratório. Os estudantes não sentem dificuldade com as referências indiciais que os professores fazem na sala de aula: fica bastante claro a que o professor está se referindo. Existe caráter simbólico na representação macroscópica já que na situação de sala de aula podem ser feitos experimentos teóricos através de conhecimentos trazidos do cotidiano. Podemos citar como exemplo uma situação em que o professor pede para os estudantes imaginarem o que acontece com cubos de gelo que são colocados dentro de um recipiente e deixados em temperatura ambiente. As palavras do professor vão direcionar o pensamento dos estudantes não para uma situação específica vivida por eles, mas para conhecimentos gerais relacionados ao gelo e a temperatura ambiente, ou seja, para o interpretante. Não existe caráter icônico porque, via de regra, não existe semelhança entre a representação macroscópica e o objeto de conhecimento.

Desta forma, quando os professores se referem à dimensão macroscópica do conhecimento, na maior parte das vezes as palavras promovem seus significados por indicar a existência de algo, e em alguns casos elas o fazem a partir dos construtos existentes na mente dos estudantes. Apesar de existirem estas duas componentes na dimensão macroscópica - indicial e simbólica - e de os professores por vezes se referirem a

ambas numa mesma fala, existe menor possibilidade de confusão por parte dos alunos porque a referência indicial indica o mundo concreto, real. O virtual, ou construto teórico, que é a referência simbólica, retira significado do concreto, que é a forma de referência indicial. A vontade dos educadores é que durante as atividades de ensino nesta dimensão do conhecimento os estudantes dependam cada vez menos de referências indiciais e que as mesmas sejam transformadas em construtos teóricos capazes de serem acessados através de referência simbólica, ou do interpretante.

A dimensão sub-microscópica do conhecimento químico trata do nível molecular dos fenômenos químicos, como o movimento e a interação das partículas. Este nível de conhecimento é um construto teórico resultado da moderna unificação do conhecimento químico teórico e experimental (Hoffman e Laszlo, 1991). Nesta dimensão do conhecimento os signos resultam de uma composição de palavras, figuras, analogias e metáforas. Em aulas de química os professores se referem a este nível de conhecimento geralmente durante explicações sobre transformações ou propriedades químicas. Quando o professor fala sobre colisões entre moléculas numa aula sobre cinética de partículas, é comum a apresentação de figuras onde existam partículas de formas variadas colidindo umas contra as outras. O professor não se refere a uma experiência vivida diretamente pelo estudante, que seria a visualização das partículas, mas utiliza analogias e metáforas para se aproximar do conhecimento pretendido. Este é o tipo de referência semiótica icônica, uma vez que o professor confia na relação de semelhança existente entre o objeto de conhecimento, que seria o estudo das propriedades cinéticas de moléculas, e o signo apresentado aos estudantes.

Este tipo de referência pode apresentar problemas, como toda analogia ou metáfora: existem significados que se deseja que os estudantes se aproximem, e existem outros significados que se deseja que os estudantes se afastem. Caso não seja tratado adequadamente, pode se tornar em uma grande fonte de conceitos alternativos quando não é apropriadamente cercado com palavras e exemplos, e quando não é explicitamente falado quais são os significados corretos e os incorretos. Esta propriedade da referência icônica é, ao mesmo tempo, um problema para o conhecimento científico e uma fonte de riqueza para o conhecimento artístico, uma vez que quadros se tornam universais justamente em função de sua capacidade múltipla de referência.

Existe caráter simbólico quando se trabalha com a dimensão sub-microscópica, já que na situação de sala de aula existe um esforço por parte dos professores para fazer referência a construtos formados nas mentes dos estudantes. Caso exista caráter indicial ao se utilizar os signos desta dimensão isto se constituirá num problema em que incorrerão erros conceituais profundos, já que sempre que for feita referência a ela a atenção será levada para a analogia, em suas figuras e formas concretas, e não para a explicação do fenômeno.

Desta forma, quando os professores se referem à dimensão sub-microscópica do conhecimento, muitas vezes as palavras promovem seus significados devido à semelhança existente entre as figuras presentes nas metáforas e o modelo de partículas atualmente aceito, e em alguns casos elas o fazem com base nos construtos mentais dos estudantes. Neste caso existe possibilidade de confusão por parte dos alunos entre estas duas referências porque os estudantes podem não saber se o professor está se referindo às semelhanças icônicas ou ao construto teórico simbólico que se espera existir em sua mente. Os professores, neste caso, fazem referência a duas componentes virtuais em uma mesma dimensão do conhecimento. O virtual de qualidade simbólica tenta obter significado do virtual de qualidade icônica. Também neste caso a

vontade dos educadores é que durante as atividades de ensino nesta dimensão do conhecimento os estudantes dependam cada vez menos de referências icônicas e que as mesmas sejam transformadas em construtos teóricos capazes de serem acessados através de referência simbólica do interpretante.

A dimensão simbólica do conhecimento químico trata das representações qualitativas, utilizando notações, terminologias e simbolismo especializados, e também das representações quantitativas, que utilizam gráficos e equações matemáticas. Este nível de conhecimento é fruto da experiência dos químicos acumulada através das práticas experimentais e teóricas, e também de congressos mundiais onde são convencionadas as melhores formas de notação. O signo a ser compartilhado pelo professor é composto de palavras, notações e equações. Estes signos compostos, por sua vez, significam grandezas, leis e construtos teóricos, frequentemente compartilhados pelos significados em torno de conceitos matemáticos. Em aulas de química os professores se referem a esta dimensão do conhecimento durante a execução de procedimentos teóricos utilizando equações, grandezas e leis, por exemplo, quando resolvem problemas teóricos junto com os estudantes. Quando o professor resolve um exercício de cálculo de concentração de solução é comum se referirem às grandezas e às leis na forma de notações especializadas e equações antes, durante e depois da resolução. Para resolver o exercício o professor lança mão dos três tipos de referência semiótica. A referência icônica se faz presente quando gráficos são utilizados para se chegar a uma conclusão, seja através de semelhança geométrica ou algébrica. O signo, na forma de gráfico, por exemplo, promove seu significado pelo simples fato de existir semelhança visual ou de propriedades entre ambos. A referência indicial está presente o tempo todo quando se representam grandezas através de letras ou símbolos especiais. Estas letras ou símbolos recebem seus significados porque estão simplesmente indicando a existência das grandezas, o que configura a significação indicial. E a referência simbólica está presente quando se lança mão de palavras para a resolução do problema. Neste caso o signo, por exemplo, a letra que indica a concentração na fórmula, alcança seu significado a partir de relações com outras palavras conhecidas dos estudantes (caráter simbólico), e não por alguma semelhança presente no próprio signo (caráter icônico) ou por estar este indicando a existência do objeto de conhecimento (caráter indicial).

Desta forma, quando os professores se referem à dimensão simbólica do conhecimento, algumas vezes as palavras promovem seus significados por indicar a existência de algo, devido à semelhança existente entre as figuras presentes nas metáforas e os modelos atualmente aceitos, e em alguns casos pela relação com construtos teóricos. Neste caso a possibilidade de confusão por parte dos alunos entre os três tipos de referências é grande, e os mesmos certamente ficarão confusos por não saberem que tipo de referência é o mais apropriado para que as palavras tenham significado. O caminho mais curto encontrado pelos estudantes para a resolução de problemas é tratar esta dimensão do conhecimento químico de uma forma familiar a eles: a matemática. Os professores, neste caso, fazem referência a três componentes virtuais em uma mesma dimensão do conhecimento. O virtual, de qualidade simbólica, promove seu significado a partir de outros virtuais, de qualidades icônica, indicial e simbólica. Espera-se promover mais significados na mente do estudante através de operações que relacionem significados de três componentes virtuais. Também neste caso a vontade dos educadores é que durante as atividades de ensino nesta dimensão do conhecimento os estudantes dependam cada vez menos de referências icônicas, indiciais e simbólicas simples, e que as mesmas sejam transformadas em construtos teóricos capazes de serem acessados através de referências simbólicas complexas.

Conclusão

O papel da fala, de imagens ou metáforas na construção do conhecimento pode ser mais bem compreendido a partir da compreensão da qualidade que o signo assume em sua relação com o objeto ou fenômeno, em cada dimensão do conhecimento químico.

A análise das três dimensões do conhecimento químico à luz da teoria semiótica resulta em categorias de análise de unidades de ensino que auxiliarão na compreensão de episódios de situações de ensino, especialmente no papel da ação mediada.

Em particular, a tríplice possibilidade de relação de qualidade semiótica (indicial, icônica e simbólica) na dimensão simbólica do conhecimento pode ser uma das principais fontes da dificuldade de professores e estudantes em desenvolver um entendimento conceitual desta dimensão do conhecimento químico. Semelhantemente, a dimensão sub-microscópica tem como fator de dificuldade o esforço de migração de uma relação de qualidade icônica, que é virtual, para uma outra relação de qualidade simbólica, também virtual. Além disso apenas algumas das relações icônicas são apropriadas para aplicação no construto teórico de relação simbólica.

Referências Bibliográficas

- Ardac, D., Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 317.
- Balaban, A.T. (1999). Visual chemistry: Three-dimension perception of chemical structures. *Journal of science Education and Technology*, 8(4), 251-255.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). Students' visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, July, 117-120.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1988). Theories, principles and laws. *Education in Chemistry*, May, 89-92.
- Bowen, C.W. (1998). Item design considerations for computer-based testing of student Learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*. 75, 1172-1175.
- Dori, Y.J., Gabel, D., Barnea, N., and Hameiri. M. (1996). Using novel Technologies to enhance chemistry understanding at the phenomena, molecular and symbolic levels. *Proceeding of the Second Jerusalem International Science and Technology Education Conference, Jerusalem, Israel*, S2-40a.
- Gabel, D.L., Briner, D., and Haines, D. (1992). Modeling with magnets – A unified approach to chemistry problem solving. *The Science Teacher* March, 58-63.
- Gabel, D.L., and Bunce, D. M. (1994) Research on problem solving: chemistry. In Gabel, D. L. (Ed.), *Handbook of research on Science Teaching and Learning*, Macmillan, New York, pp. 301-326.
- Gabel, D.L. (1998). The complexity of chemistry and implications for teaching. In Fraser, B.J., and Tobin, K.G. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers, London, pp. 233-248.
- Garnet, P.J., Garnet. P.J., and Hacking, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25: 69-95.

Giordan, M.; Gois, J.. Telemática educacional e ensino de química: Considerações em torno do desenvolvimento de um construtor de objetos moleculares. *Revista Latinoamericana de Tecnologia Educativa (RELATEC)* 3, 2 (41-59), 2004.

Griffiths, A.K., & Preston, K.R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics at atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611-628.

Habraken, C.L. (1996). Perceptions of chemistry: Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences, so distorted? *Journal of Science Education and Technology*, 5(3), 193-201.

Hegathy, M., Carperter, H.A. e Just, M.A. (1991). Diagrams in the comprehension of scientific texts. In R. Barr, M.L. Kamil e P.D. Pearson (Eds.) *Handbook of reading research* (vol II) pp. 641-668). Nova York: Longman.

Hoffmann, R., and Lazlo, P. (1991). Representation in chemistry. *Angewandte Chemie* 30, p. 1-16.

Jonstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computerized Assisted Learning* 7:75-83.

Jonstone, A.H. (1993). The Development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*. 70, 701-704.

Kozma, R.B., and Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 949-968.

Kozma, R.B., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The roles of presentations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry instruction. *Journal of the Learning Sciences*, 9(2), 105-143.

Larkin, J. e Simon, H.A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Sciences*, 11, 65-100.

Nye, M.J. (1993). *From chemical philosophy to theoretical chemistry*. Berkeley, CA: University of California Press.

Peirce, C.S. (2000). *Semiótica*. São Paulo. Ed. Perspectiva (3a ed).

Santaella, L. (1983). *O que é semiótica*. São Paulo. Ed. Brasiliense.

Sawyer, B.A. (1990). Concept learning versus problem solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67, 253-254.

Smith, K., Metz, P., (1996). Evaluating student understanding of solution chemistry through microscopic representations. *Journal of Chemical Education*, 73, 233-235.

Vigotski, Lev S. (1981). The instrumental method in psychology. In 'The Concept of Activity in Soviet Psychology', J.V. Wertsch (ed.), ME Sharpe Pub., New York, p. 134-143. Orig. pub. em 1931.

Wertsch, James V. (1998). *Mind as action*. Oxford Univ. Press, New York, USA.

Wu, H., Krajcik, J.S., Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842.

Wu, H. (2003). Linking the microscopic view of chemistry to real-life experiences: intertextuality in a high-school science classroom. *Science Education*, 87: 868-891.

