

OS NÍVEIS DE REPRESENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA E AS CATEGORIAS DA SEMIÓTICA DE PEIRCE
(The levels of representation in de teaching of chemistry and the categories of Peirce's semiotics)

Edson José Wartha [ejwartha@ufs.br]

Universidade Federal de Sergipe

Campus Professor Alberto Carvalho – Itabaiana – SE.

Daisy de Brito Rezende [dbrezend@iq.usp.br]

Universidade de São Paulo

Instituto de Química da USP – São Paulo – SP.

Resumo

Este trabalho apresenta um panorama das pesquisas em Educação Química que tratam da questão da representação do conhecimento químico. Focalizamos nosso estudo naqueles trabalhos que contemplam o modelo dos três diferentes níveis do conhecimento químico propostos por Alex Johnstone, procurando realizar uma reflexão sobre esses estudos ao mesmo tempo em que procuramos estabelecer algumas relações da representação do conhecimento químico com a teoria da Semiótica de Charles Sanders Peirce.

Palavras-chave: níveis de representação do conhecimento químico; Semiótica; ensino de Química.

Abstract

This work presents a panorama of the researches in chemical education that treat of the subject of the representation of the chemical knowledge. We focused our study in those works that contemplate the model of the three different levels of the chemical knowledge proposed by Alex Johnstone, trying to accomplish a reflection at the same time on these studies in that we tried to establish some relationships of the representation of the chemical knowledge with Charles Sanders Peirce semiotics theory.

Keywords: levels of representation of the chemical knowledge; semiotics; teaching of chemistry.

Introdução

Este trabalho tem sua origem em nossas inquietações acadêmicas no que diz respeito à compreensão científica dos processos de construção do conhecimento químico, mais especificadamente, em relação às representações no ensino de Química. Essa discussão parece oportuna principalmente quando começamos a perceber que um modelo apresentado há quase 30 anos por Alex Johnstone destacando diferentes níveis de pensamento e de representação no processo de ensino e aprendizagem em Química, em seu artigo “*Macro and micro-chemistry*” (Johnstone, 1982), ainda é muito utilizado e propagado pelos pesquisadores em educação Química. Parece ser o principal e único modelo que discute a questão das representações no ensino de Química não encontrando qualquer divergência sobre o modelo dos três diferentes níveis de representação na literatura sobre educação Química. Parece-nos, portanto, que o modelo de Johnstone tornou-se uma forma definitiva de encarar a atividade de representação no ensino de Química e, nesse sentido, gostaríamos de apresentar algumas contribuições da Semiótica Peirceana de forma a contribuir na construção de outros modelos explicativos sobre os níveis de representação no ensino de Química.

O caráter representacional do conhecimento químico

“*Imaginação é mais importante que conhecimento*”. Essas palavras de Albert Einstein ilustram muito bem nosso ponto de vista sobre a questão das representações no processo de ensino e aprendizagem em Química. Conhecimento só, não é suficiente em Química. O conhecimento de fórmulas, equações, ligações e mecanismos de reações não deveriam ser o objetivo principal no ensino e aprendizagem de Química. Do nosso ponto de vista, seria mais importante o desenvolvimento da imaginação, em função das evidências observadas, dos dados analisados e da capacidade de criar modelos explicativos por meio da capacidade de representar átomos, moléculas e transformações químicas, por exemplo, e usá-los na construção do conhecimento químico sobre determinado fenômeno.

O conhecimento químico se constitui em sistemas formais interpretados. Isso significa que os modelos teóricos, constituídos por um corpo de enunciados, adquirem conteúdo ao serem associados, indiretamente, a aspectos observáveis da realidade exterior. Em outras palavras sua interpretação conduz a um modelo teórico que tem a pretensão de ser a própria representação mental (teórica e interna) dessa realidade (De La Torre, 1992; Adúriz-Bravo e Galagovsky, 1997). Podemos dizer que cada teoria possui modelos conexos, que articulam representações associadas a ela. Dessa maneira, pode-se dizer que um modelo científico é a mediação entre um sistema formal teórico e sua interpretação (Adúriz-Bravo, 1999).

O conceito de representação tem uma longa história, o que lhe confere uma multiplicidade de significados. Na filosofia ocidental, a ideia de representação esta ligada à busca de formas apropriadas de tornar o ‘*real*’ presente, de aprendê-lo o por meio de sistemas de significação. Nessa história, a representação tem-se apresentado em duas dimensões: a representação externa, por meio de sistema de signos como a pintura e a imagem, por exemplo; e a representação interna ou mental, a representação do ‘*real*’ na consciência.

Giordan e Vechi (1996) chamam a atenção para a polissemia em torno do termo representação, pois identificaram que o termo vem sendo empregado com diferentes significados em função das escolas que o utilizam em Psicologia, Filologia, Linguística, Etnologia, Filosofia, Sociologia, Pedagogia ou Didática. Esses autores identificaram cerca de 28 qualificativos relativamente a esse termo, que incluem desde a ideia de pré-representações remanescentes até a de pré-requisitos e 27 sinônimos. Definições de que as representações eram entendidas como “*espécies de coisas existentes na cabeça dos alunos, de natureza estável, quaisquer que fossem as circunstâncias*” até um entendimento de que as representações passaram a ser consideradas, globalmente, como “*espécies de estruturas mentais postas em ação ante situações-problemas*”. Polissemia que levou Giordan e Vechi (1996) a proporem a substituição do termo representação por concepções ou constructo, no sentido de ampliar sua possibilidade operativa.

Na rubrica filosófica, representação significa a operação pela qual a mente tem presente em si mesmo a imagem, a ideia ou o conceito que correspondem a um objeto que se encontra fora da consciência. Já na área da psicologia o termo é tido como imagem intencionalmente chamada à consciência e mais ou menos completa de um objeto qualquer ou de um fato antes percebido ou ainda o conteúdo consciente vivido como um todo coerente e que está orientado, involuntariamente de qualquer dado de realidade, para um determinado campo de objetos, acontecimentos ou situações (Costa, 2008). Nas Ciências Cognitivas as representações mentais são, de certo modo, definidas como construções hipotéticas que são utilizadas pelos estudantes para explicar ou compreender um fenômeno, nas quais pode diferir muito em seu conteúdo, mas não em seu formato representacional ou no processo em que os estudantes constroem e manipulam. No uso de representações sejam proposicionais, modelos mentais ou imagens mentais (Johnson-Laird, 1983), não se circunscrevem a ambientes específicos, são usadas para resolução de qualquer problema, seja de ambiente escolar,

familiar ou de trabalho; para isso colocamos em movimento diferente formato para representar a informação que é mais importante, entre outros aspectos, a complexidade do problema, nossa experiência, os propósitos da inferência, e nossa habilidade para utilizar inteligentemente os códigos de representação. As representações mentais são maneiras de “representar” o mundo externo. “As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais e internas dele” (Eisenck e Keane, 1990).

Na Semiótica, encontram-se, também, definições muito variadas para o conceito de representação e, que no âmbito de sua significação se encontra entre a apresentação e imaginação. Pierce, em 1865, caracterizava “a semiótica como a Teoria Geral das Representações” falando simplesmente de “signo ou representação”. A representação é compreendida como um signo icônico: objetos apresentados funcionam ontologicamente e objetos representados funcionam semioticamente (Santaella e Nöth, 2005). Na Semiótica Pierciana, é o signo que desencadeia a representação, uma vez que ele é percebido como sendo, algo que, sob certo aspecto ou de algum modo, representa alguma coisa para alguém. Dirige-se a alguém, isto é, cria, no espírito dessa pessoa, um signo equivalente, ou talvez um signo mais desenvolvido. Ao signo assim criado denomino interpretante do primeiro signo. O signo representa alguma coisa, seu objeto. Representa esse objeto não em todos os seus aspectos, mas com referência a um tipo de ideia ou fundamento do representamen (Peirce, 2005).

Para Moscovici (1978) representação é basicamente a imagem de algo ou alguém que a linguagem circunscreve com o fluxo das associações no espaço simbólico, pois uma representação fala tanto quanto mostra, comunica tanto quanto exprime. “No final das contas, ela produz e determina os comportamentos, pois define simultaneamente a natureza dos estímulos que nos cercam e nos provocam, e o significado das respostas a dar-lhes”. Lefebvre (1983) considera que a representação é “uma presença na ausência”. Signos, crenças, visões de mundo, que se representam é, na maioria das vezes, algo ausente, presentificado. É possível identificar que o pensamento de Moscovici (1978) e de Lefebvre (1983) convergem no modelo semiótico de Peirce, de 1931, que afirma que “o signo é qualquer coisa que está no lugar de algo para alguém, sob determinados aspectos ou capacidades”.

Duval (2009) considera que as representações podem ser mentais, internas ou computacionais e semióticas. Para o autor, as representações mentais cumprem a função de objetivação que consistem em um conjunto de imagens e concepções que um indivíduo pode ter sobre um objeto, uma situação ou aquilo que está associado ao objeto ou à situação. Tais representações estão associadas à interiorização das representações externas. As representações internas ou computacionais são aquelas que privilegiam o tratamento de uma informação, que por sua vez se caracteriza pela execução automática de uma determinada tarefa, a fim de produzir uma resposta adaptada à situação. Essas representações tratam, assim, da codificação de uma informação. O algoritmo da adição é um exemplo deste tipo de representação. Estas representações não são conscientes do sujeito. Trata-se de um registro mecânico que o sujeito executa sem pensar em todos os passos necessários para a sua resolução (Damm, 1999).

Na visão pós-estruturalista, a representação é concebida unicamente em sua dimensão significativa, isto é, como um sistema de signos, como pura marca material em que se considera que a representação se expressa por meio de uma pintura, de uma fotografia, de um diagrama, de uma equação, de uma fórmula, de um texto, de uma expressão oral. Portanto, nessa concepção, a representação não é nunca uma representação mental ou interna. A representação é, nessa concepção, sempre uma marca ou traço visível e exterior (Silva, 2005).

Mesmo com toda polissemia em torno do termo representação, no caso dos processos de construção e elaboração conceitual em Química, nesse estudo, consideram-se apenas dois tipos de

representações, as representações internas ou mentais e as representações externas ou semióticas. Ideias, conceitos, concepções e crenças como exemplo de representações internas. Mapas, desenhos, diagramas, gráficos, equações e mecanismos de reações como exemplos de representações externas ou semióticas. Em síntese, as representações mentais (internas) estão ligadas à interiorização das representações externas e, por outro lado, as representações semióticas (externas) são um meio do qual um indivíduo dispõe para exteriorizar suas representações mentais (internas), ou seja, deixá-las visíveis e acessíveis aos outros. Nesse caso, a Semiótica Peirceana poderá contribuir na compreensão do processo de interiorização das representações externas, ou seja, a compreensão do processo de pensamento no qual representamos e interpretamos o mundo por meio de signos.

O modelo de Johnstone e os níveis de representação do conhecimento químico

Em relação aos níveis de representação do conhecimento químico, Johnstone (1982) foi um dos primeiros pesquisadores a propor um modelo para explicar a relação entre os níveis de representação em seu artigo “*Macro and micro-chemistry*”. Nesse modelo foi proposto um nível sensorial ou perceptivo (nível macroscópico), um nível molecular ou exploratório (nível submicroscópico) e um terceiro nível, o representacional (nível simbólico). Johnstone (1993) verificou inconsistências no modelo proposto e, 10 anos depois, apresenta uma nova versão para seu modelo com algumas alterações, agora denominado como “*componentes de uma nova Química*” e que, em um novo artigo (Johnstone, 2000) passa a denominá-lo de “*formas de uma natureza para a Química*”. Os componentes da nova Química seriam a macroquímica do tangível, do concreto, do mensurável; a submicroquímica do molecular, do atômico e cinético; e uma Química do representacional que corresponde aos símbolos, às equações e formulas químicas.

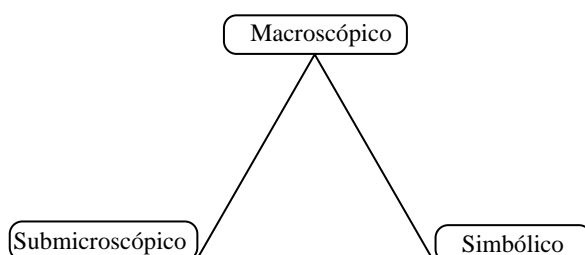


Figura 1. Os três componentes básicos da “nova Química” de Johnstone (adaptado de Johnstone, 1993; 2000).

Johnstone argumenta que grande parte das dificuldades da aprendizagem em Química se deve ao fato de que, o processo de ensino e aprendizagem, se dá quase que exclusivamente em apenas um dos vértices do triângulo (macroscópico e simbólico), deixando de lado aspectos mais estruturais (correspondente ao vértice do submicroscópico) privando o aluno da sua capacidade de modelagem. Existe uma tendência dos alunos para explicarem os fenômenos químicos no plano macroscópico, pois dificilmente possuem competências ou de recursos simbólicos, no plano mental, para compreensão das transformações químicas num nível que requer uma maior capacidade de abstração como é o caso do nível submicroscópico. Amparado na psicologia de Ausubel, Johnstone (1982; 1993) defende a ideia de que no processo de ensino e aprendizagem em Química o aluno deverá se mover no interior do triângulo lidando com os três componentes da Química representados nos três vértices do triângulo. De acordo com esse modelo, uma transformação química pode ser explicada em cada um dos três componentes. No nível macroscópico, como descrição da situação empírica, no nível submicroscópico pode explicá-la pelo modelo de partículas e no nível simbólico, representa-se a transformação química por fórmulas e equações.

O grupo de pesquisa coordenado por Treagust tem relatado vários trabalhos concernentes à habilidade de modelização e sua relação com o nível de representação sub-microscópico propostos por Johnstone. Treagust *et al.* (2003) relacionam os níveis de representação com tipos de explicações científicas, a saber: analógica, antropomórfica, relacional, baseada em problemas e baseada em modelos. A questão central desse trabalho se concentra no papel que os níveis simbólicos e sub-microscópicos de representação desempenham na compreensão do fenômeno químico e na forma como estas representações fazem sentido no processo de aprendizagem. Porém, é possível perceber que os autores consideram um kit de moléculas (bola-varetas) como sendo representações no nível simbólico, ao passo que vibrações moleculares estão associadas ao nível sub-microscópico de representação (Treagust *et al.*, 2003). Uma representação gráfica e/ou uma fórmula estrutural são meios de materializar o ente químico, criando alguma identidade entre o representante e o representado. Assim, Treagust *et al.* (2003) concluíram que a explicitação da articulação entre os níveis do conhecimento químico seria capaz de propiciar a criação de imagens mentais pelos aprendizes e, em boa medida, realizar parte das tarefas que se atribui ao uso de modelos físicos. Em trabalho posterior (Chittleborough e Treagust, 2007), investigaram o papel dos modelos físicos como instâncias mediais simbólicas, concluindo que os modelos físicos desempenham um papel fundamental para que os alunos estabeleçam relações entre os níveis de representação macroscópico e sub-microscópico. Em outro trabalho (Chandrasegaram et al., 2007), em que também se empregaram os níveis de representação de Johnstone como referência, foi mostrado que os estudantes são capazes de manipular os três níveis de representação mas que há necessidade de múltiplos meios de comunicação para facilitação da aprendizagem.

Rappoport e Ashkenazi (2008) problematizam os três níveis de representação propostos por Johnstone, apontando que implicam na existência de uma hierarquia entre os níveis de representação do conhecimento químico, sendo, portanto, considerados níveis de pensamento. Desse modo, os autores propõem alterar os níveis de representação de Johnstone para níveis de abstração, tendo-se a experiência sensorial como um critério de ordenação, sendo a representação uma instância exclusiva da mente do sujeito. Fazem uma análise do triângulo proposto por Johnstone, chamando a atenção para o fato de que os níveis sub-microscópico e simbólico se encontram na base, enquanto o microscópico está no ápice (Figura 1). Johnstone considera o nível macroscópico como sendo concreto e, os outros níveis, como sendo de natureza abstrata. Rappoport e Ashkenazi (2008) afirmam que o triângulo visto dessa maneira sugere uma classificação em níveis de abstração em que o critério de ordenação é a experiência sensorial. E, portanto, sugerem outra classificação, por níveis de complexidade, tendo como critério de ordenação a emergência. Na perspectiva da emergência, considera-se que os níveis surgem da interação de objetos em níveis mais baixos. Para a Química, considera-se que o nível macroscópico emerge a partir das interações que ocorrem no nível sub-microscópico. E, para evidenciar o critério da emergência, Rappoport e Ashkenazi (2008) propõem a inversão do triângulo (Figura 2), considerando o nível simbólico mais relacionado com propriedades observáveis (por ser visível), mesmo reconhecendo que o nível simbólico pode ser utilizado para representar tanto o nível macroscópico como o nível sub-microscópico. Portanto, esses autores propõem que o nível simbólico não seja visto como nível de complexidade, o que justifica sua posição junto ao nível macroscópico, no novo arranjo do triângulo que representa o conhecimento químico, constituindo o nível do sistema. O nível do sub-microscópico corresponde ao nível dos componentes (Queiroz, 2009).

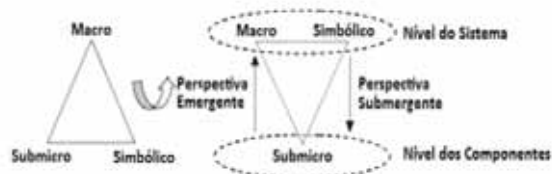


Figura 2. Triângulo na perspectiva emergente para a mudança das idéias de nível de abstração para os níveis de complexidade (adaptado de Rappoport e Ashkenazi, 2008: 1588)

Kermena e Méheut (2009), ao analisarem o novo currículo francês para a disciplina de Química, identificaram que os estudantes usam diferentes modelos para interpretar as transformações químicas, e que os estudantes privilegiam um modelo em relação a outros embora empreguem diferentes modelos. No caso específico de cinética química, a maioria dos estudantes praticamente não usa os dois modelos macroscópicos e nenhum estudante recorreu ao modelo cinético microscópico. Ao buscar compreender a razão dos estudantes apresentarem modelos explicativos incompletos, as autoras propõem um novo esquema (Figura 3) para interpretar a relação entre os diferentes níveis do conhecimento químico.



Figura 3. Níveis empíricos e o nível de modelo conectado com as representações simbólicas (adaptado de Kermena e Méheut, 2009).

Kermena e Méheut (2009) não usam a figura do triângulo de Johnstone (1982), mas sim, a figura de um tetraedro porque distinguem o nível empírico (macro) dos modelos macroscópicos que o interpreta. Por outro lado, afirmam que as representações simbólicas são usadas para nomear e descrever componentes de componentes de modelos tanto macroscópico como microscópico (segunda parte do nível empírico). Acreditam que o modelo do tetraedro poderia ser uma ferramenta útil para professores perceberem com que frequência os modelos explicativos dos alunos se movem de um nível a outro e, principalmente identificar as dificuldades que os estudantes apresentam para interpretar fenômenos químicos. Talanquer, diferentemente das autoras, ampliando a ideia apresentada por essas autoras, propõem-se a considerar o conhecimento químico em sua complexidade.

Um estudo recente sobre os três níveis de representação em Química, Talanquer (2011) faz uma análise acerca das suposições subjacentes às ideias de Johnstone (1982), mostrando que foram tema de vários trabalhos de pesquisa no ensino de Química, além de servirem como fundamento em reformulações curriculares e propõe uma nova estrutura para melhor situar a questão dos níveis de representação em Química, ou seja, uma interpretação pedagógica da natureza e estrutura do conhecimento químico (Figura 4). Essa nova estrutura procura apontar algumas saídas para os problemas enfrentados em explicitar quais dos níveis são realmente representações. O modelo de Talanquer (2011) propõe uma divisão entre o nível experimental (macroscópico/experiências) e o representacional (sub-microscópico e simbólico/modelo e visualização).

- 1- *Experiências*: incluem nosso conhecimento descritivo de substâncias e transformações químicas, adquirido de forma direta (pelos sentidos) ou indireta (usando instrumentos). Experiências remetem ao conhecimento empírico atual que se tem sobre os sistemas químicos.
- 2- *Modelos*: incluem o descritivo, explicativo e modelos teóricos que os químicos desenvolveram para dar sentido ao mundo experimental. Modelos se referem às entidades teóricas e às suposições subjacentes que são descritas como sistemas químicos atribuindo a eles algum tipo de estrutura interna, composição, mecanismos explicativos ou preditores das várias propriedades desses sistemas.
- 3- *Visualização*: sinais visuais estáticos e dinâmicos (de símbolos para ícones) desenvolvidos para facilitar o pensamento qualitativo e quantitativo e a comunicação sobre experiências e modelos em química. Visualização remete aos símbolos químicos, fórmulas, desenhos de partículas,

equações matemáticas, gráficos, animações, simulações e modelos físicos usados para visualizar os componentes representacionais do modelo teórico.

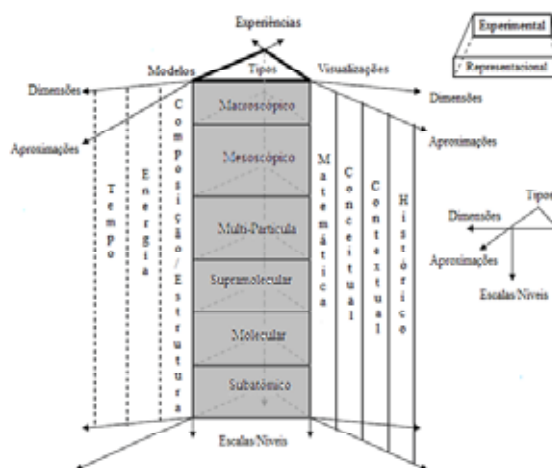


Figura 4. Escalas do conhecimento químico. A imagem representa um espaço multi-dimensional definido pelos diferentes níveis de dimensões e abordagens nos três tipos de conhecimento (experiências, modelos e visualização) que podem ser conceitualizados (adaptado de Talanquer, 2011: 181).

Mortimer *et al.*, (2000) redimensionam os níveis de representação de Johnstone, na literatura sobre Educação Química no Brasil, sendo definidos como os “*três aspectos do conhecimento químico*”: fenomenológico ou empírico, teórico ou “*de modelos*” e representacional ou da linguagem. Colocam-nos que essas três componentes: fenômeno, linguagem e teoria devam comparecer igualmente nas interações em sala de aula, uma vez que, a produção de conhecimento em ciências resulta sempre da relação dinâmica/dialética entre experimento e teoria, pensamento e realidade. Relação que só é possível através da ação mediadora da linguagem.

Mortimer *et al.*, (2007), em outro estudo, classificam a questão da representação no ensino de Ciências em três conjuntos de categorias – modelagem, níveis de referencialidade e operações epistêmicas. As ações da linguagem por meio das quais o conhecimento científico é apresentado na sala de aula envolve a produção de enunciados que ora tomam como base referentes do mundo concreto (macroscópico), ora tratam de referentes do mundo abstrato (submicroscópico) como mostrado na Figura 5.

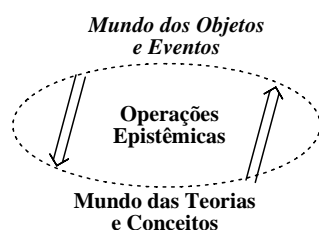


Figura 5. Movimentos epistêmicos (adaptado de Mortimer *et al.*, 2007)

Os movimentos epistêmicos sinalizados pela figura 5 conectam o mundo possível concebido por meio das teorias, modelos e conceitos das ciências com o mundo vivido ou mundo da experiência, no interior dos quais estão situados os objetos e eventos que constituem nosso conceito sócio-histórico de “*realidade*”. De acordo com Paula e Alves (2007), do ponto de vista dos níveis de referencialidade, a passagem de referentes concretos (mundo dos objetos e eventos) a referentes abstratos (mundo das teorias e conceitos) e vice-versa, geralmente, implica na produção de enunciados que envolvem classes de referentes (signos, símbolos ou o próprio objeto).

Ainda sobre a questão da representação do conhecimento químico, encontramos alguns trabalhos que não derivam diretamente do modelo proposto por Johnstone como, por exemplo, o estudo de Wu, Krajcik e Soloway (2001) em que mesmo fazendo referência aos níveis de representação de Johnstone, procuram analisar diferentes estratégias didáticas que combinem múltiplas formas de representação. Os autores manifestam preocupação em apresentar uma base epistemológica para a noção de representação, como podem ser observados ao discutirem as representações químicas como construtos teóricos provenientes da interpretação que os químicos fazem da natureza e da realidade. As fórmulas moleculares, os gráficos, as equações químicas, os modelos geométricos deveriam ser compreendidos como substitutos racionais das substâncias em determinado contexto. Para Wu (2003) o desenvolvimento de competências representacionais implica realizar ações que permitam ao estudante construir suas próprias representações, utilizar as representações em determinado contexto e poder estabelecer relações entre as diferentes representações.

Com exceção dos dois últimos trabalhos, verificamos que em todos os modelos propostos para a questão da representação em Química há uma relação triádica, representado pela figura de triângulo, fato que nos levou a pensar na possibilidade de possíveis relações com a semiótica de Charles Sanders Peirce, que também se apresenta como uma relação triádica entre o objeto, o signo e o interpretante.

Teoria da significação e representação de Peirce

Peirce (1839-1914) desenvolveu uma teoria que trata dos fenômenos de significação e representação e de seu uso na cognição e comunicação. As ideias de Peirce se voltam à observação dos fenômenos onde certos objetos funcionam como “*signos*”. Para Peirce, a relação triádica do signo é considerada como a forma básica ou o princípio lógico-estrutural dos processos dialéticos de continuidade e crescimento ocorrendo onipresentemente no mundo real. Esta relação foi definida por Peirce como “*semiose*”. A triadicidade, encontrada na base da teoria de Peirce, parte da concepção de que a experiência do fenômeno pode ser sempre reduzida de forma a apresentar três tipos de propriedades, correspondentes às categorias que em 1867 foram denominadas de Qualidade, Relação e Representação, sendo que posteriormente o termo Relação foi substituído por Reação e o termo Representação por Mediação. Entretanto, para fins científicos, Peirce preferiu fixar-se na terminologia de *Primeiridade*, *Secundidade* e *Terceiridade*, por serem palavras inteiramente novas, livres de falsas associações a quaisquer termos já existentes (Santaella, 1983).

Peirce denominou suas categorias gerais de *Primeiridade*, relacionada com a qualidade em si, sem relação com o objeto; *Secundidade*, na qual entra em jogo a relação de um objeto com outro objeto e a *Terceiridade*, na qual se manifesta a lei que regula a relação. A primeira tricotomia envolve a natureza material do signo, se dá em relação ao signo consigo mesmo por uma qualidade, uma singularidade ou uma lei geral. Assim, um signo pode ser um *quali-signo*, um *sin-signo* ou um *legi-signo*. A segunda tricotomia diz respeito à relação do signo com seu objeto. Desta forma, um signo pode ser um ícone, um índice ou um símbolo. A terceira tricotomia relaciona o signo ao seu interpretante. Um signo pode ser um *rema*, um *dici-signo* ou um *argumento*. O quadro 1 procura mostrar de forma simplificada as tricotomias dos signos de Peirce e seu relacionamento com as três categorias da experiência:

Quadro 1. Classificação dos signos semióticos (adaptado de Almeida *et al.*, 2011:11)

Categorias	O signo em relação a si mesmo (significação)	O signo em relação ao objeto (objetivação)	O signo em relação ao interpretante (interpretação)
Primeiridade	Quali-signo	Ícone	Rema
Secundidade	Sin-signo	Índice	Dicente
Terceiridade	Legi-signo	Simbólico	Argumento

Para Santaella (2004) “o signo é um primeiro (algo que se apresenta à mente), ligando um segundo (aquilo que o signo indica, se refere ou representa) a um terceiro (o efeito que o signo irá provocar em um possível intérprete)” (p.7). Em um contexto de aprendizagem em Química, a primeiridade pode ocorrer quando um estudante visualiza pela primeira vez na lousa, um traço ou um gráfico, por exemplo, sem fazer referência a nada, somente ao traçado registrado e, nesse caso, há somente uma primeira impressão. A secundidade refere-se à experiência, às ideias de dependência, determinação e a ação e reação. Quando o estudante vê o traço ou o gráfico na lousa e, imediatamente, o relaciona a um objeto químico. Por exemplo, ao visualizar o traço faz relação com uma ligação simples ou ao visualizar um gráfico o relaciona com o ponto de ebulição da água.

A terceiridade refere-se à generalidade, continuidade e crescimento. A terceiridade corresponde a uma relação triádica entre o signo, o objeto e o interpretante (Cada representação é interpretada por meio de outra. A essa nova representação, Peirce denomina de interpretante da primeira). O estudante estará a caminho da terceiridade quando seu olhar sobre o traço ou sobre o gráfico estiver carregado de interpretação, de busca de explicações, de análises e generalizações, de modo que ele possa interpretar o fenômeno em questão.

O triângulo semiótico (Figura 6) tem sido referido como um elemento através do qual se pode explicar o processo de significação. É preciso lembrar, entretanto, que há várias versões do triângulo, cujas diferenças não se restringem às diferentes denominações dadas aos seus vértices. Na versão de Peirce, o funcionamento do signo pode ser expresso pela imagem mostrada na Figura 6, ou em síntese:

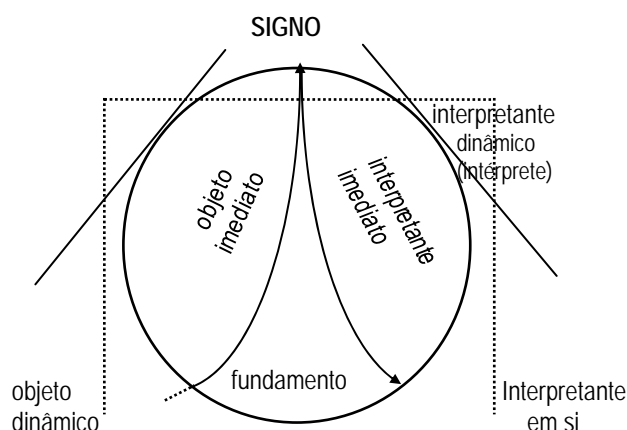


Figura 6. Representação da semiose ou da ação do signo (Santaella, 1983).

"(...) aquilo que provoca o signo é chamado de '*objeto*' (para sermos mais precisos: objeto dinâmico). Signo é determinado por alguma espécie de correspondência com esse objeto. Ora, a primeira representação mental daquilo que o signo indica é denominada '*objeto imediato*'. Esse objeto (representação mental) produz triadicamente o efeito pretendido do signo (isto é, seu interpretante) através de outro signo mental. Essa natureza triádica da ação é essencial para que o signo funcione como tal" (Santaella, 1983:55).

Santaella (2005) propõe que o significado se desloca incessantemente: o signo representa algo (o seu objeto). O objeto de qualquer signo tem duas faces: o “*objeto imediato*” e o “*objeto dinâmico*”. O primeiro é interno ao signo e consiste, como afirma Santaella (2005), no modo como o objeto dinâmico se apresenta no próprio signo. O segundo é externo ao signo e corresponde à realidade que, de alguma forma, realiza a atribuição do signo à sua representação, ou seja, corresponde à coisa representada tal como ela é. Alguém em cuja mente se processará sua remessa para outro signo, onde o seu sentido se traduz. Assim, como afirma a ação que é própria do signo é a de ser interpretado em outro signo, ou seja, a de determinar um interpretante. O interpretante seria,

dessa maneira, um signo que desenvolve um signo anterior, em um processo de semiose contínua. Conforme Santaella (2005), o interpretante não é qualquer signo, mas o efeito causado por um signo em uma mente. Assim, algo só funciona como signo se for interpretado. Peirce reconhece a limitação do signo: ele não é o objeto. Assim como o símbolo $\text{CO}_2(g)$ é algo outro que não o gás carbônico. Feitas essas ponderações, pode-se afirmar que as fórmulas químicas, diagramas e analogias, por exemplo, são signos que apresentam perdas em sua representatividade e, conforme são apresentadas, podem até mesmo configurar um signo degenerado, na medida em que fornecem apenas a iconicidade de um objeto, ao passo que experimentos ou exemplos físicos que descrevam o conceito engendram símbolos genuínos, sobretudo porque proporcionam a experiência colateral, ou seja, a presença do *objeto dinâmico*. Os símbolos que apresentem apenas o *objeto imediato*, aquele intrínseco ao signo, não significa que sejam degenerados. O que caracteriza a degeneração simbólica é a ausência do aspecto indicial, aquilo que remete à existência, ou a iconicidade geral, que fornece corporalidade ao objeto representado. Em processos de ensino e aprendizagem de Química é necessário levar em consideração a possibilidade de um signo não possuir seu objeto dinâmico, visto que, para vários entes químicos têm-se apenas modelos, como é o caso de átomos, íons e moléculas, por exemplo.

A construção do conhecimento químico e sua relação com a semiótica peirceana

O campo de estudo e de aplicações da Semiótica no âmbito do ensino de Química pode ser percebido, ou no fato da importância dos signos na compreensão dos entes químicos, ou pelo fato de que os conceitos químicos não se encontram independente das representações. Por exemplo, na qualificação dos signos (Quadro 1), quando um signo em relação ao seu interpretante for um signo que designa qualidade (Primeiridade), trata-se de *rema* (conjectura ou hipótese); quando o signo se referir à existência (Secundidade), trata-se de *dicente*. O *sin-signo indicial* gera um interpretante *dicente* e quando o signo em relação com seu objeto se referir a uma lei (Terceiridade), caracteriza-se um *argumento*. Portanto, os *legi-signos simbólicos* geram *argumentos*.

O estudo da influência da temperatura na solubilidade de alguns sais pode ser usada como referência para a análise na busca de Primeiridade, Secundidade e Terceiridade, bem como para identificação de da objetivação, interpretação e significação, levando-se em consideração o gráfico apresentado na Figura 7.

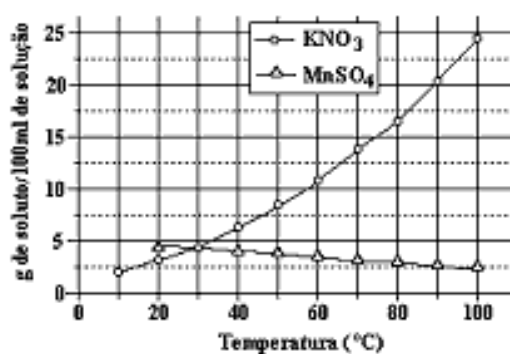


Figura 7. Curvas de solubilidade em água, em função da temperatura, dos sais KNO_3 e MnSO_4

Para iniciar o estudo da solubilidade dos sais KNO_3 e MnSO_4 , os estudantes levam em consideração o gráfico apresentado pelo professor no contexto de uma aula de Química. Nesse momento, tiveram uma primeira impressão (Primeiridade) do que esta representação inicial significa, enquanto um problema a ser estudado. Nesse primeiro contato os estudantes não tem em mente a qual fenômeno químico se refere, ou seja, o estudante em contato com o signo, não faz referência a nada, somente ao traçado registrado sem fazer qualquer relação com outra propriedade ou representação desse objeto. Em relação à qualificação dos signos caracterizamos que o gráfico

informa uma qualidade da situação de estudo, na relação do signo em si mesmo (significação) trata-se de um *quali-signo*; na relação com o objeto (objetivação) é um *ícone* (figura) que apresenta um objeto que ainda será caracterizado; e na relação do signo com o interpretante (o signo que se criou na mente dos alunos) é uma *rema*. Nesse caso, pode-se afirmar que houve uma compreensão por parte dos alunos com relação ao tema que se pretende estudar, pois as relações de significação, objetivação e interpretação foram estabelecidas.

A partir do contato com o *quali-signo icônico* (o gráfico), gerou-se um interpretante *remático*, e com as informações apresentadas no texto que acompanham o gráfico, os estudantes decidem investigar em quais temperaturas as solubilidades dos sais são semelhantes e em quais temperaturas a solubilidade de um é maior que a solubilidade do outro sal em água. Ao fazerem relações de significação, objetivação e interpretação foram estabelecidos pelo signo (gráfico) e evidenciado pelos estudantes no desenvolvimento da atividade, ou seja, ao observarem o gráfico, os estudantes observaram um signo, que representa algo em lugar de outra coisa e, a partir desse signo, se propuseram a estudar o problema. A partir da situação problema (fenômeno da solubilidade) os estudantes identificaram o problema que iriam investigar e a existência de algo a ser investigado, estabelecendo uma relação diádica entre o estado de “quase” e uma determinação, que corresponde a uma relação de dependência entre dois termos (Secundidade).

Para resolver o problema, os estudantes trataram da questão da massa de sal dissolvida de cada sal em diferentes temperaturas e, a partir das informações apresentadas no gráfico, constroem uma tabela relacionando a temperatura com a massa correspondente de cada sal dissolvida em água. Essa construção seria uma primeira tradução das informações realizada pelos estudantes. Adentram a categoria Terceiridade, pois para construírem a tabela, os estudantes seguem uma lei (o gráfico apresentado e algumas considerações estabelecidas por eles ou até mesmo a elaboração de uma função matemática que permite fazer generalizações sobre o comportamento das substâncias). Na relação do signo consigo mesmo, a tabela é um *legi-signo*; na relação do signo com o objeto, é um *símbolo*, e na relação do signo com o interpretante a tabela é um *argumento*, pois representa o fenômeno químico da solubilidade dos dois sais em água a diferentes temperaturas. O estudante está no caminho da terceiridade quando seu olhar para o traçado estiver carregado de interpretação, de busca de explicações, de análise e generalizações. A terceiridade permite estabelecer uma relação triádica existente entre o signo, o objeto e o interpretante. Em síntese, o processo de construção do conhecimento químico sobre o fenômeno da solubilidade se inicia com um *quali-signo icônico* com interpretante *remático*, abordam na sequência *sin-signo indicial* com interpretante *dicente*, para na dedução da modelo trabalhar apenas com *ligi-signos simbólicos*, gerando *argumentos* como interpretantes.

Outra possível relação no ensino de Química, o exemplo da segunda tricotomia do signo (relações do signo com seu objeto) em que são considerados três tipos de signo: ícone (primeiridade), índice (secundidade) e símbolo (terceiridade). Exemplo de ícone dentro do processo de construção do conhecimento químico, podemos citar a utilização de um objeto molecular concreto do tipo bola-vareta ou de uma imagem virtual, como por exemplo, a água, no contexto de uma aula sobre a descontinuidade da matéria.

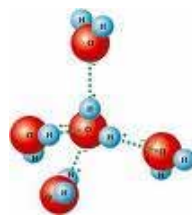


Figura 8. Imagem virtual das interações entre as moléculas de água.

No mesmo instante em que o professor utilizar este tipo de recurso em sua aula, a atenção do estudante será dirigida para as esferas distintas, talvez com colorações diferentes e ligadas entre si. Esse tipo de representação tem a intenção explícita de enfatizar duas propriedades: a descontinuidade da matéria nas unidades discretas da molécula, bem como a tridimensionalidade do ente molecular. Dessa forma, por semelhança com a teoria de Dalton sobre a descontinuidade da matéria, as bolas de coloração azul simbolizam os átomos de hidrogênio, as bolas de coloração vermelha representam os átomos de oxigênio e as linhas tracejadas as ligações de hidrogênio. Nesse tipo de exemplo de ícone, uma pessoa sem o mínimo conhecimento químico (interpretante) e, portanto, sem nunca ter tido contato com a ideia de molécula (objeto) poderá identificar no ícone objeto molecular unidades discretas distintas separadas por algo que as une. Temos, portanto, a função de promover significação por semelhança de propriedades entre o ícone (objeto molecular) e seu objeto (ente molecular) (Silva, 2007).

Como exemplo de índice dentro do processo de representação do conhecimento químico, pode-se utilizar a letra **C** para representar o elemento químico carbono, a letra **H** para representar o elemento químico hidrogênio e a letra **O** para representar o elemento químico oxigênio.

CH₃-CH₂-OH

O professor ao utilizar tal simbologia, a atenção do estudante será dirigida para os elementos químicos carbono, hidrogênio e oxigênio que nessa situação, geralmente tem apenas o nome como principal propriedade. Os índices promovem significação pelo fato de indicarem o objeto e de serem automaticamente afetados por ele, de forma que a indefinição do objeto acarreta a perda do significado pretendido. De acordo com a atividade proposta pelo professor, a representação mental do estudante, poderá se iniciar em ícone, índice e evoluir para símbolo genuinamente representado. Um mesmo exemplo poderá assumir as três categorias, que de acordo com Peirce, não são fixas. Assim, a representação acima para a molécula de etanol pode ser considerado um símbolo para a comunidade de químicos e pode não ser um símbolo para um estudante que entrar em contato pela primeira vez com essa representação.

Como exemplo de símbolo pode-se citar a palavra '*etanol*' numa aula sobre funções orgânicas. Antes mesmo de o professor explicar os diferentes compostos dentro das funções orgânicas, mais especificadamente, a função álcool com este nome, ao se pronunciar a palavra etanol, vem à mente do estudante a ideia cotidiana do combustível, do caro flex., da usina de álcool, da cana-de-açúcar, por exemplo. Como as categorias não são fixas pode-se encontrar estudantes que não consigam fazer tais relações e, nesse caso, a representação mental do aluno poderá se iniciar em ícone e evoluir para símbolo. Caso o estudante não consiga evoluir para símbolo e apenas memorizar a representação sem evoluir do ícone para símbolo, estará gerando semiose degenerada e, conseqüentemente, a construção de um signo degenerado não permitindo a formação de um interpretante e sucessivas semioses.

A relação triádica em Peirce perpassa a classificação dos signos, pois algo que esteja na secundidade possui também a primeiridade (o inverso não é verdadeiro), e a terceiridade detém ambas. No caso da representação do conhecimento químico faz-se necessário ressaltar que objeto teórico no nível molecular (submicroscópico) deverá ser construído ao longo do curso de Química, a partir de propriedades e conceitos que vão sendo aos poucos adicionados aos já existentes (sucessivas semioses). Em relação aos objetos de caráter icônico, como a utilização de objetos moleculares concretos ou virtuais que apontem diretamente para objetos concretos do mundo sensível à percepção humana, deve ser enfatizado o caráter icônico de semelhança e analogia com as propriedades de moléculas e átomos, e não um caráter indicial, para que os estudantes não pensem que os átomos têm cores ou que as ligações químicas são bastões.

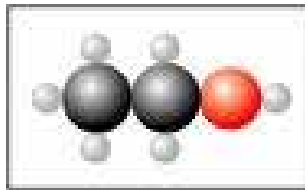


Figura 9. Imagem virtual de uma molécula de etanol.

Existindo apenas o caráter indicial no uso dos signos no nível atômico molecular, certamente isto se constituirá num obstáculo à aprendizagem, visto que incorrerão erros conceituais profundos, já que sempre que for feita referência à imagem, a atenção do estudante será levada para as figuras e formas concretas, e não para as funções que elas desempenham na construção de interpretações do fenômeno. Isto porque as representações desta dimensão do conhecimento químico não apontam (pelo menos não deveriam apontar) diretamente para nenhum objeto conhecido no mundo real dos estudantes ou de qualquer ser humano (Silva, 2007). De acordo com Peirce, é difícil, senão impossível, encontrar algum signo desprovido de sua qualidade indicial. Dentro do conhecimento químico, os mesmos signos poderão assumir qualidades indiciais, icônicas e simbólicas, dependendo do contexto em que são aplicados.

De acordo com Silva (2007), em cada dimensão do conhecimento químico prevalecem determinadas qualidades semióticas de significação. No nível macroscópico do conhecimento químico prevalecem as relações indiciais e simbólicas. No nível submicroscópico são encontradas predominantemente as relações icônicas e simbólicas de significação. No nível simbólico do conhecimento químico, no entanto, são encontradas todas as qualidades de significação semiótica, ou seja, indiciais, icônicas e simbólicas. Com isso a dimensão simbólica do conhecimento químico certamente oferece maior dificuldade de compreensão dentro do que atualmente é proposto como conhecimento químico oficialmente aceito.

Consideramos que o campo de ação do professor na situação de ensino pode ser visto como um processo de significação numa relação dos signos com seus objetos, de onde se podem extrair importantes relações nos processos de ensino e da aprendizagem. Faz-se necessário observar que a abordagem do processo de significação que expomos não leva em consideração fatores de natureza sociológica ou culturais, como, por exemplo, o valor atribuído pela coletividade às relações de nexos entre o signo e o objeto, ou ainda o propósito destas relações para fins de organizar ações no coletivo, entre outros fatores (Giordan, 2008).

Nesse caso, os aspectos submicroscópicos (teorias, modelos explicativos), poderiam ocupar a posição lógica do fundamento do signo, a secundidade. Esse nível de conhecimento é um construto teórico resultado da moderna unificação do conhecimento químico teórico e experimental. Nessa dimensão do conhecimento, os signos resultam de uma composição de palavras, figuras, analogias e metáforas. 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. Esse é um tipo de referência semiótica icônica, uma vez que o professor confia na relação de semelhança existente entre o objeto de conhecimento, que seria, por exemplo, o estudo das propriedades cinéticas de moléculas e o signo apresentado aos estudantes. Para Silva (2007), esta propriedade da referência icônica nos coloca, ao mesmo tempo, uma limitação e um potencial para lidarmos com o conhecimento científico, uma vez que figuras, gráficos e esquemas se tornam universais justamente em função de sua múltipla capacidade de referência.

Na dimensão simbólica do conhecimento químico que trata das representações qualitativas, utilizando notações, terminologias e simbolismos especializados, o signo a ser compartilhado pelo professor é composto de palavras, notações e equações. Dessa forma, quando os professores se

referem à dimensão simbólica do conhecimento, algumas vezes as palavras promovem seus significados por indicar a existência de algo, outras vezes devido à semelhança existente entre as figuras presentes nas metáforas e os modelos atualmente aceitos e, em outros casos, as palavras promovem seus significados pela relação com construtos teóricos. Nesse caso a possibilidade de confusão entre os três tipos de qualidade semiótica é grande e os estudantes certamente ficarão confusos por não saberem qual tipo de qualidade (icônica, indicial ou simbólica) é o mais apropriado para que as palavras e representações diversas tenham significado. Por, isso é muito freqüente, que os estudantes na resolução de problemas tratem o problema de uma forma familiar a eles, a matemática, ou seja, são capazes de resolver problemas de Química sem a devida compreensão dos conceitos envolvidos. Em síntese, analogias, metáforas, figuras, gráficos, equações e fórmulas químicas, por exemplo, podem ser tomados como ícones, índices ou símbolos dependendo de quem os interpreta. Para um professor podem ser símbolos, mas para alunos iniciantes em Química terão um caráter mais icônico que de acordo com o trabalho de ensino do professor, ou com as atividades desenvolvidas poderá evoluir para o símbolo genuinamente representado.

Considerações

A finalidade desse texto de estabelecer algumas reflexões sobre possíveis aproximações entre os níveis do conhecimento químico e a semiótica peirceana vem ancorada na prática da migração conceitual permitindo o fluxo de ideias de um campo científico para outro (Morin, 1995).

Para a semiótica peirceana, os níveis de representação do conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico e simbólico) são processos de geração de signos interpretantes, que se inserem num fluxo de tradução de informação em significados, cada vez mais aperfeiçoados na elaboração conceitual sobre o objeto científico investigado. Em cada nível de representação podem ocorrer diferentes semioses levando a formação tanto de interpretantes reumáticos, como dicentes e argumentos. Cada um dos níveis de representação do conhecimento químico pode estar relacionado com as três categorias semióticas de Peirce. Tanto o nível macroscópico, submicroscópico e simbólico permitem relações de primeiridade, secundidade e terceiridade por meio de sucessivas semioses, ou seja, geração de signos interpretantes. E, o interpretante pode ser gerado nos diferentes níveis dependendo das atividades e das ferramentas utilizadas no processo de ensino e aprendizagem. A possibilidade de existência de inúmeros signos associados a um mesmo, objeto assume especial importância quando aplicadas a um campo do conhecimento que trabalha, essencialmente, com representações como é o caso da Química. De nosso ponto de vista, a Figura 4 é a que melhor permite uma aproximação entre os níveis e representação e a semiótica peirceana, pois indica como cada semiose pode avançar no sentido do aprofundamento nos diferentes níveis de representação do conhecimento químico.

Utilizar-se das categorias filosóficas de Peirce (primeiridade, secundidade e terceiridade) permite a compreensão dos objetos sîgnicos como representação do conhecimento químico no poder de representação dos signos em seus contextos de estudo. Portanto, conclui-se que a Semiótica Peirceana apresenta um potencial teórico muito rico para, também, discutir a questão das representações do conhecimento químico, sobretudo hoje, nos ambientes das múltiplas linguagens e, principalmente, dos ambientes virtuais, em que é possível apresentar com clareza peculiaridades e propriedades inerentes aos processos relativos a interações dinâmicas no nível de partículas subatômicas como, por exemplo, a movimentação relativa entre as partículas devido a colisões intermoleculares e a própria temperatura. O caráter icônico desse tipo de representações pode ser utilizado para construir o conhecimento químico que ou não seria possível de outra forma ou seria muito mais difícil utilizando apenas palavras e imagens estáticas. Na Química a maioria dos objetos (entes químicos) é representada e, objetos representados funcionam semioticamente. Portanto, a

semiótica pode trazer contribuições para uma melhor compreensão dos processos que envolvem representações no ensino de Química.

Referências

Adúriz-Bravo, A. Y.; Galagovsky, L. (1997). *Modelos científicos y modelos didácticos em la enseñanza de las ciencias naturales*. Parte 1: Consideraciones Teóricas. Memorias de la X REF. Mar del Plata: Argentina, 1997.

Adúriz-Bravo, A. (1999). *Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias*. Tesis de maestría. Universitat Autònoma de Barcelona, 1999.

Almeida, L. M. V.; Silva, K.P.; Vertaun, R. (2011). Sobre a categorização dos signos na semiótica peirceana em atividades de modelagem matemática. *Revista eletrônica de Investigación em Educación em Ciencias*, v. 6, n. 1, p.1-10, 2011.

Chandrasegaram, A. L.; Treagust, D.; Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 8, n. 3, 293-307.

Chittleborough, G. & Treagust, D. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 8, n. 3, 274-292.

Costa, V. (2008). Representações sociais e semiótica: um território em comum? Acesso em: http://www.eca.usp.br/caligrama/n_9/pdf/10_costa.pdf.

Damm, R. F. (1999). *Registro de representação*. In: Machado, S. D. A. Educação. Matemática: uma introdução. São Paulo: Educ. p. 135-153.

Duval, R. (2009). *Registros de Representações Semióticas e Funcionamento Cognitivo da Compreensão em Matemática*. In: Alcântara Machado, Silvia D. (Ed.) Aprendizagem Matemática: Representação Semiótica. 4ª ed. São Paulo: Papirus, 11-34.

Eysenck, M.; Keane, M. (1990). *Cognitive Psychology a student's handbook*. Lawrence Erlbaum Associates Ltd. , Publishers. 2a reimpressão.

Giordan, M. (2008). *Computadores e linguagens nas aulas de ciências*. Ijuí: Editora Unijuí.

Giordan, A.; Vecchi, G. (1996). *As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos*. Trad. Bruno Charles Magne. Porto Alegre: Artes Médicas.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.

Johnstone, A. H. (1982). Macro and micro-chemistry. *The School Science Review*, 1982, 64-377.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry: logical or psicological? (2000). *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, v. 1, n. 1, p. 9-15, 2000.

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

Kermen, I. e Méheut, M. (2009). Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2009, 10, 24-34.

Lefebvre, H. (1983). *La presencia y La Ausencia: contribución a la teoria de las representaciones*. Cidade do México: Fondo de Cultura Económica, 1983.

- Morin, E. (1995). *Introdução ao pensamento complexo*. Trad. Maria Gabriela de Bragança. 2 ed. Lisboa: Instituto Piaget.
- Mortimer, E. F.; Machado, A. H.; Romanelli, L. I. (2000). *Quim. Nova* n.32, 273-277.
- Mortimer, E; Massicame, T; Buty, C.; Tiberghien, A. (2007). *Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de ciências*. In: Nardi, R. A pesquisa em ensino de Ciência no Brasil: alguns recortes. São Paulo: Escrituras, 2007.
- Moscovici, S. (1978). *A Representação Social da Psicanálise*. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.
- Paula, H. F. e Alves, E. G. (2007). Uma seqüência de ensino sobre a física quântica, os dispositivos semicondutores de nosso dia a dia. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0397-1.pdf>
- Peirce, C.S. (2005). *Semiótica*. São Paulo. Ed. Perspectiva.
- Queiroz, A. S. (2009). *Contribuições do ensino de ligação iônica baseado em modelagem ao desenvolvimento da capacidade de visualização*. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- Rappoport, L. T. & Ashkenazi, G. (2008). Connecting Levels of Representation: emergent versus submergent perspective. *International Journal of Science Education*, v. 30, n. 12, p. 1585-1603.
- Santaella, L.; Nöth, W. (2005). *Imagem: Cognição, Semiótica, Mídia*. São Paulo: Iluminuras, 2005.
- Santaella, L. (2005). *A teoria geral dos signos – semiose e autogeração*. São Paulo: Pioneira.
- Santaella, L. (2004). *A teoria geral dos signos: como as linguagens significam as coisas*. São Paulo: Pioneira.
- Santaella, L. (1983). *O que é a Semiótica*. Coleção Pequenos Passos: 103 - Editora Brasiliense.
- Silva, T. T (2005). *A identidade e Diferença*. Petrópolis: Vozes.
- Silva, J. G. (2007). *Desenvolvimento de um ambiente virtual para estudo sobre a representação estrutural em química*. Dissertação de mestrado – Faculdade de Educação – USP. São Paulo.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic? The Many Faces of the Chemistry Triplet. *International Journal of Science Education*, v. 33, n. 2, 2011, 179-195.
- Treagust, D.F.; Chittleborough, G.; Mamiala, T.L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1353-1368.
- 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.
- 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.

Recebido em: 08.02.10

Aceito em: 19.10.11