

Interação, interpretação e representação: análise semiótica de obstáculos textuais e imagéticos presentes em livros didáticos de química

Interaction, interpretation and representation: semiotical analysis of textual and imagetic obstacles in chemistry textbooks

Karina Aparecida de Freitas Dias de Souza
Instituto Federal de São Paulo – *Campus Salto*
karina_souza@ifsp.edu.br

Paulo Alves Porto
Universidade de São Paulo – Instituto de Química
palporto@usp.br

Resumo

Considerando o papel das representações na construção e divulgação do conhecimento químico e os obstáculos que o realismo a elas associado pode representar ao seu ensino e aprendizagem, foi realizada análise, à luz da semiótica peirceana, das estratégias de comunicação empregadas por autores de 31 livros didáticos destinados ao ensino de Química Geral no contexto universitário brasileiro do século XX. Foram identificadas duas características que podem representar obstáculos à compreensão do papel das representações em química, para além de uma concepção ingenuamente realista: (i) o *aumento da iconicidade em relação às teorias* e (ii) a *inversão do objeto aos quais as evidências experimentais se referem*. Propõem-se que a abordagem peirceana pode contribuir para o resgate e afirmação do papel dos modelos na construção e comunicação das ciências.

Palavras chave: livros didáticos, imagens, representação, semiótica

Abstract

Considering the role of representations in the construction and communication of chemical knowledge, and the obstacles that naive realism can represent to chemistry teaching and learning, it was analyzed, from the perspective of peircean semiotics, the strategies of communication employed by authors of 31 General Chemistry textbooks utilized in Brazilian universities through the twentieth century. We identified two characteristics that can pose barriers to the understanding of the role of chemical representations: (i) increasing of the iconicity related to theories and (ii) the inversion of the object to which the experimental evidence is referred. We propose that the peircean approach can contribute to the rescue and affirmation of the role of models in the construction and communication of science.

Key words: textbooks, images, representation, semiotics

Introdução

Introdução

A química vem lidando com aspectos importantes de sua filosofia como a caracterização de seus objetos e forma de construção de seu conhecimento, contexto em que questões relacionadas ao realismo ingênuo ganham destaque. Considerando a educação em química, reflexões sobre o estatuto ontológico e epistemológico das representações e das entidades representadas relacionam-se diretamente com a capacidade preditiva e explicativa dos estudantes (BUCAT e MOCERINO, 2009; SOUZA e CARDOSO, 2009).

Este trabalho constitui recorte da tese “Estratégias de comunicação em química como índices epistemológicos: análise semiótica das ilustrações presentes em livros didáticos ao longo do século XX” (SOUZA, 2012). Assumindo a natureza semiótica da construção do conhecimento, derivado da interpretação e reinterpretação de fenômenos (signos), a referida tese teve por principais objetivos: (i) delinear um referencial teórico que contemplasse as relações e realidade – interação – interpretação – representação e (ii) caracterizar as estratégias de comunicação - destacadamente as de caráter imagético - do conhecimento químico empregadas por autores de 31 livros didáticos de Química Geral circulantes nas Universidades brasileiras ao longo do século XX, sob a perspectiva do referencial elaborado.

A análise dos LDs evidenciou diferentes tendências para o ensino de química, acompanhadas de modificações nas estratégias de representação de seu conteúdo: de processos industriais e aparatos laboratoriais, passou-se à sua quase negligência em favor das representações de átomos e moléculas, cuja “realidade” foi sendo construída a partir de recursos cada vez mais elaborados (SOUZA e PORTO, 2012). As imagens foram distribuídas entre nove categorias: (i) Laboratório e experimentação; (ii) Indústria e meios produtivos; (iii) Gráficos e diagramas; (iv) Ilustrações relacionadas ao cotidiano; (v) Modelos (vi) História da Ciência e (vii) Amostras de origem animal, vegetal ou mineral; (viii) Analogias e (ix) Conceitos de Física.

Dado o limite de espaço, o presente trabalho apresenta os resultados da análise das categorias (i) e (iii) à luz do referencial peirceano, destacando as estratégias de comunicação adotadas pelos autores ao longo do século XX, bem como suas implicações para a educação em química, especialmente as relacionadas a concepções realistas associadas a seus objetos.

Desenvolvimento da pesquisa

A teoria dos signos de Charles S. Peirce – Delineando um referencial teórico

Peirce propôs que tudo se apresenta à consciência numa gradação de três propriedades: (1) *Primeiridade* - fenômeno no estado mais puro; (2) *Secundidade* - conflito da consciência com o fenômeno - ação e reação; e (3) *Terceiridade* - processo mediado por **signos** através do qual representamos e interpretamos o mundo: o *signo*, ao representar determinado *objeto*, gera naquele com quem se relaciona um *interpretante* (PEIRCE, 1974). Desse processo mediado, surgem três aspectos: o signo em si (seu fundamento), o signo em sua relação com o objeto, e o signo em sua relação com o interpretante.

Considerando que o acesso do químico ao fenômeno estudado, de **caráter interacional**, é sempre **mediado** e, nesse sentido, **limitado** pelo relativismo imposto por sua própria natureza, o caráter semiótico de tal processo é manifesto: as evidências sensoriais, viabilizadas por

instrumentos ou não, atuam como **signos** que remetem a aspectos específicos e parciais dos **objetos** (realidade) a que se referem. Tomando a **interação** como qualquer forma de aproximação do fenômeno, incluindo experiências sensoriais, medidas instrumentais, etc., ela sempre será capaz de desencadear no intérprete - no caso, o químico - diversas semioses (representadas na Figura 1 pela linha tracejada) que levarão a interpretantes, demandando esforços no sentido de descrição e categorização que poderão, finalmente, levar a hábitos de ação, sempre passíveis de revisão, que poderíamos associar à proposta de construtos teóricos ou linguísticos com objetivo de representação e comunicação dos primeiros (Figura 1).



Figura 1. Abordagem semiótica para a elaboração de construtos científicos.

Quando o foco é direcionado à comunicação do conhecimento químico, em especial nas salas de aula de ciências, nova semiose é estabelecida. Nela, construtos teóricos e linguísticos, bem como sua forma de produção, tornam-se objetos cujo acesso se dá através da fala e gestos do professor, textos, imagens modelos moleculares, etc. Tais estratégias de comunicação assumem o papel de signos e gerarão interpretantes na mente dos estudantes (Figura 2).

Considerando que nas situações de ensino e aprendizagem o conteúdo dos LDs assume papel de signo cujo objeto é o conhecimento químico e sua forma de produção, seu fundamento e as relações signo-objeto assumem especial relevância.

De acordo com o primeiro aspecto (seu fundamento), um signo pode ser (1) um *quali-signo*, quando for mera qualidade, (2) um *sin-signo*, quando for um existente concreto, e (3) um *legi-signo* quando se tratar de lei geral, convencionada pelos intérpretes do signo (PEIRCE, 1975). Na relação do signo com seu objeto, três categorias, que podem coexistir em diferentes graus, emergem: (1) o *ícone*, que se refere ao objeto por força de caracteres próprios, independentes da efetiva existência do objeto; (2) o *índice*, que se refere ao objeto por ser realmente afetado por ele e (3) o *símbolo*, que se refere ao objeto por força de uma lei (PEIRCE, 1975).

Para a análise das imagens sob o referencial da semiótica peirceana, considerando que tal processo deve seguir a lógica das relações do signo, antes da análise da relação entre signos e objetos, o próprio fundamento do signo foi analisado. O que se segue, portanto, é a discussão das imagens (signos) distribuídas em cada uma das categorias anteriormente mencionadas, frente a seu fundamento e, posteriormente, frente à relação que estabelecem com seus objetos, ou seja, frente aos fenômenos e construtos teóricos a serem comunicados.

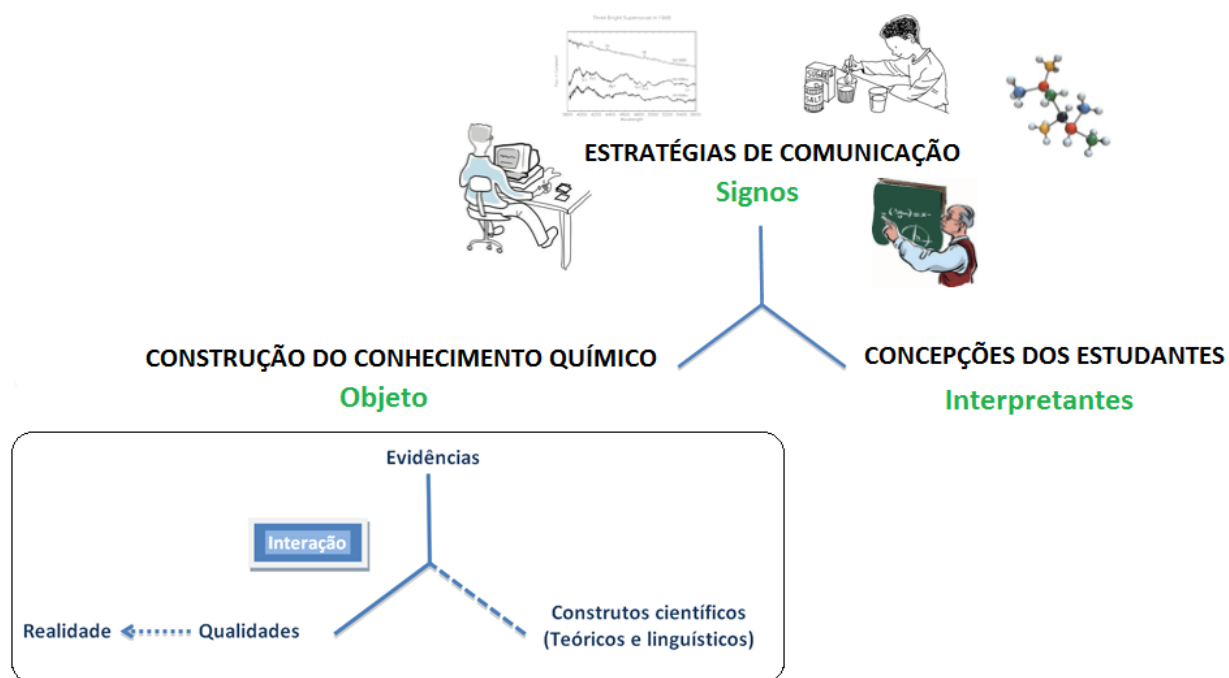


Figura 2. Comunicação do conhecimento químico nos ambientes de ensino e aprendizagem.

Análise dos livros didáticos

Antes da apresentação dos resultados de tal processo, dois pontos devem ser destacados: (i) nenhum signo pode ser classificado de maneira taxativa, sendo apenas observados aspectos preponderantes em determinados processos sógnicos e (ii) na análise semiótica, assumimos o papel de um intérprete singular, cujo interpretante precisa sempre ser revisitado, por ser falível (SANTAELLA, 2008). Isso posto, passemos à análise geral das categorias “Laboratório e experimentação” e “Gráficos e diagramas”.

Categoria I - Laboratório e Experimentação

Nessa categoria foram incluídas ilustrações associadas a aparatos, reagentes, métodos de obtenção, métodos de preparação e simulação/demonstração de experimentos/resultados.

Na apresentação da referida categoria, dificilmente é possível apresentar “ideias gerais”, ou seja, representa-se, por exemplo, o método de preparação *do oxigênio*, e não um método de preparação geral; representa-se *uma balança em particular* e não todas as balanças. Assim, todas as ilustrações apresentadas nessa categoria foram classificadas como *sin-signos*.

Na relação com seu objeto, tais signos buscam colocar o leitor em contato com o *existente* representado, seja um aparato disponível no laboratório ou uma observação experimental. A figura do aparato de destilação ou do espectro de infravermelho possui relação existencial com seu objeto (a vidraria e o espectro reais), sendo assim considerados *índices* na segunda tricotomia. Tal caráter indicial torna-se ainda mais proeminente nos livros mais modernos, em razão da melhoria e ampliação da utilização de recursos fotográficos e de multimídia.

Destacando a subcategoria “Simulação/demonstração de experimentos/resultados”, enquanto no início do século as evidências experimentais atuavam como índices do *comportamento* dos materiais e substâncias, com o passar do tempo passaram a ser entendidas como índices de sua *estrutura e composição*. Nesse sentido, o comportamento passa a ser entendido como

simples consequência de algo mais fundamental, e não mais como o conhecimento a ser buscado pela ciência química, de forma a assumir, nos LDs, papel de mera exemplificação.

Na obra de Kotz e Treichel (1998), por exemplo, o tópico “Propriedades coligativas” inicia-se da seguinte maneira:

Na superfície de uma solução aquosa estão presentes moléculas de água e também íons, ou moléculas do soluto [ver *Figura 3*]. As moléculas de água podem abandonar o líquido e entrar na fase gasosa, onde exercem a pressão de vapor da solução. Não há, porém, tantas moléculas de água na superfície da solução quantas na superfície da água pura, pois algumas foram deslocadas pelos íons ou moléculas do soluto. Assim, o número de moléculas de água que podem escapar da superfície do líquido fica reduzido e, por isso, a pressão de vapor é *mais baixa* que a pressão de vapor da água pura, na mesma temperatura. [Após algumas considerações de ordem matemática] chegamos à **lei de Raoult** (Kotz e Treichel, 1998, p. 439-440 – destaques dos autores).

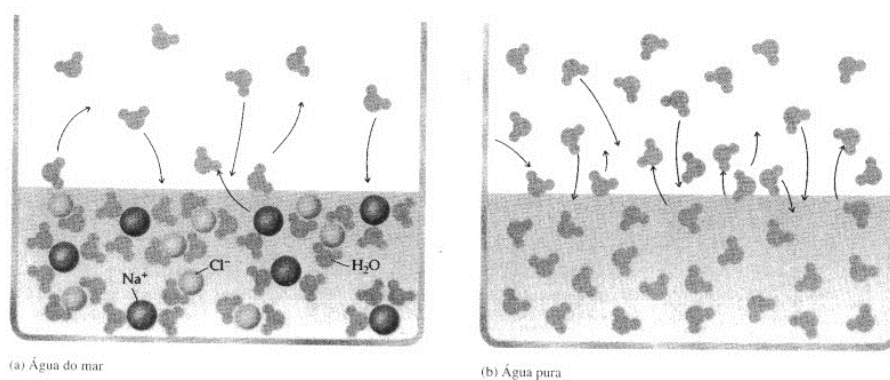


Figura 3. Água do mar [esquerda] e água pura [direita], segundo Kotz e Treichel (1998, p. 441).

No exemplo acima, a lei de Raoult é apresentada depois da explicação baseada no comportamento das partículas, como se o comportamento fosse consequência do *fato molecular* e não esse último uma explicação possível para o fato experimental.

O discurso é reforçado, mais uma vez, pelo aumento da iconicidade em relação à teoria que precede a ilustração, caracterizada pela representação dos ângulos de ligação previstos para a molécula de água e pelos distintos raios iônicos¹, associado à indexicalidade conferida pelas setas, que “denotam a ideia de percurso, conduzindo o leitor a conectar cada *molécula*² a um local específico de origem, de existência espacial local” (Martins e Queiroz, 2010, p. 11).

Categoria III – Gráficos e Diagramas³

Foram incluídos nessa categoria gráficos cartesianos, diagramas descritivos e diagramas de energia. Em tais construtos, busca-se evidenciar o comportamento (empírico ou teórico) de determinadas substâncias, materiais ou entidades frente a pelo menos uma variável. Apesar de

¹ Ainda que não se configure objeto dessa pesquisa, é importante destacar que os raios iônicos foram erroneamente representados.

² Adaptação do original extraído de Martins e Queiroz, no qual se lê “denotam a ideia de percurso, conduzindo o leitor a conectar cada *peessoa* a um local específico de origem, de existência espacial local” (p.11).

³ A definição de diagrama aqui utilizada é a disponível no Dicionário Larousse Cultural (1992), segundo o qual diagrama refere-se à “representação de um objeto ou fenômeno qualquer por meio de linhas”.

estar demonstrado o vínculo com um existente (o fenômeno) e, assim, posto o caráter indicial desses signos, destacamos seu caráter proeminentemente *icônico*, dada a relação de semelhança operacional estabelecida entre eles⁴. A representação de uma molécula de água através de um modelo de bola e vareta, por exemplo, leva em consideração relações internas como raio atômico e ângulo de ligação. Trata-se de um ícone, pois reflete a teoria que a precede, semelhança reconhecida através de relações internas racionalmente construídas.

Passando ao fundamento do signo, algumas considerações devem ser apresentadas. Diagramas descritivos, de menor importância para o presente trabalho, uma vez que geralmente são empregados como instrumento de resumo ou de facilitação do conteúdo *específico*, podem ser considerados *sin-signos icônicos*, dado que o objeto está ali representado por intermédio de algumas qualidades.

Diagramas cartesianos ou diagramas de energia, no entanto, constituem *réplicas de uma lei geral* que se intenta representar, assumindo ação fundamental de *legi-signos*. No caso da representação da pressão de vapor de diferentes substâncias em função da temperatura, por exemplo, cada curva - cuja representação gráfica atua como *ícone* do experimento em si - é uma réplica (sin-signo) de uma lei geral.

Um ponto importante acerca dos diagramas, especialmente dos casos em que gráficos cartesianos representam leis gerais, merece ser destacado. Do ponto de vista semiótico, e considerando que o objeto de uma curva pressão de vapor *vs.* temperatura é o experimento em si, classificamos as referidas curvas como *legi-signos icônicos*. Se considerarmos, porém, a transição, observada ao longo do século XX, da ênfase no *comportamento para a estrutura* da matéria, temos que os gráficos passam a atuar, mediados pelo discurso empregado pelos autores de livros didáticos, como *legi-signos indiciais*, cujo objeto é a estrutura da matéria.

Seguindo com o exemplo do conceito “pressão de vapor”, nas obras do início do século sua apresentação dava-se sob o aspecto empírico, o mesmo valendo para a temperatura de ebulição. Observemos a discussão do tema por Deming (1939):

A pressão de vapor de todo líquido aumenta rapidamente com a temperatura. No final, se o líquido estiver em um recipiente aberto, a pressão de vapor iguala-se à pressão externa (...) A evaporação, a partir desse momento, ao invés de ocorrer paulatinamente na superfície do líquido, toma lugar em seu interior. Bolhas de vapor formadas no corpo do líquido sobem rapidamente para sua superfície, e dizemos que o líquido entra em ebulição (Deming, 1939, p. 116).

Ao texto segue apresentação de curva pressão de vapor *vs.* temperatura para as substâncias éter, etanol e água. A relação entre texto e imagem, bem como na construção textual utilizada, o gráfico atua como ícone da descrição experimental realizada.

Se tomarmos como contraexemplo a abordagem proposta por Atkins e Jones (2001) para o mesmo tema, o gráfico assume papel distinto:

A pressão de vapor de um líquido é uma *indicação* de quão rapidamente as moléculas em um líquido podem escapar das forças que as mantêm juntas. Mais energia está disponível para essa fuga em temperaturas mais altas que as baixas, assim podemos esperar que a pressão de vapor de um líquido aumente com o aumento da temperatura. A Figura 8.4 [referindo-se à curva pressão de vapor *vs.* temperatura das substâncias dietil éter, etanol e

⁴ Segundo Stjernfelt (2000), “Não importa se o signo parece semelhante; o teste decisivo para sua iconicidade é a possibilidade de sua manipulação para obtenção de novas informações sobre seu objeto” (p. 358).

benzeno] mostra a dependência da pressão de vapor de vários líquidos com a temperatura, e vemos em cada caso o aumento de pressão de vapor *como esperamos* (Atkins e Jones, 2001, p. 431 – destaques nossos).

No exemplo apresentado, as informações fornecidas pelo gráfico são apresentadas como consequência da estrutura molecular sendo, assim, por ela determinadas. O caráter *indexical* dessa “nova” relação evidencia postura ontologicamente realista no que se refere às entidades químicas e caracteriza desvio (ver Figuras 4a e 4b) das tríades propostas nas Figuras 1 e 2, segundo as quais, do ponto de vista pedagógico, os gráficos atuam como índices do comportamento decorrente de interações impostas à matéria, para o qual teorias e modelos moleculares são apenas interpretantes possíveis.

A Figura 4a retoma a Figura 1, de forma que as setas pontilhadas buscam destacar que **a única forma pela qual o intérprete pode acessar a realidade (objeto) é a mediação por um signo**. É nesse contexto que afirmamos que, em uma situação de ensino e aprendizagem, o gráfico cartesiano constitui **índice do comportamento da matéria**. O contato com esse signo indicial, associado a outros signos (estratégias de comunicação) apresentados ao longo do processo educativo e a experiências anteriores do estudante podem levar, **num processo de interpretação orientado pelo professor**, à consolidação de interpretantes mais ou menos próximos dos construtos científicos que se deseja comunicar.

Quando, porém, em contraposição ao processo de mediação acima descrito, um gráfico cartesiano é tomado como confirmação de uma estrutura molecular já conhecida e assumida como existente, constrói-se relação direta (representada pela Figura 4b) que não corresponde ao processo de elaboração de conceitos científicos, e que negligencia o papel dos modelos como construções aproximadas que auxiliam a compreensão de uma realidade inacessível em sua completude. Os construtos científicos assumem, assim, papel de objeto que se pretende comunicar e o potencial de geração de interpretantes é reduzido, uma vez que o gráfico assume papel de mera constatação de comportamento já esperado.

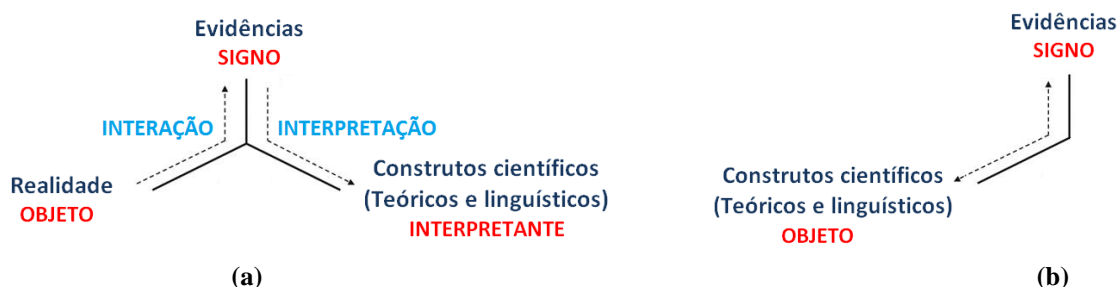


Figura 4. (a) A elaboração de construções teóricas só é possível se mediada por evidências (signos); (b) O “desvio” da sequência semiótica proposta, no sentido de atribuir “realidade” aos construtos científicos. Nessa perspectiva, a ideia de “modelo” torna-se difusa, bem como o papel das evidências experimentais.

Considerações finais

Os resultados sugerem dois aspectos que podem representar obstáculos à compreensão do papel das representações em química: (i) o *aumento da iconicidade em relação às teorias*, entendida como “acordo cultural iconizado por se tratar de uma regularidade convencionalizada através de uma qualidade (ícone)” (Martins e Queiroz, 2010, p. 7). Nos exemplos apresentados, as qualidades nas quais se baseia o atributo icônico referem-se à teoria que precede a representação; e (ii) a *inversão do objeto aos quais as evidências experimentais (signos) se referem*, associada às estratégias que convertem as evidências experimentais, outrora signos (índices) do comportamento da matéria, em índices do comportamento das partículas que, de construtos teóricos e linguísticos, passam a existentes concretos. Tal busca

pela concretude das partículas parece, de fato, ser uma tendência que não se mostra associada exclusivamente à ampliação das técnicas instrumentais, mas também à tentativa de facilitação da compreensão dos conceitos químicos, que ganha força ao final da década de 1980, quando problemas relacionados à educação tornam-se alvo de preocupação mais generalizada.

Acreditamos que a abordagem peirceana proposta nessa pesquisa contribui para o resgate e afirmação do papel dos modelos na construção e comunicação das ciências, ampliando as discussões acerca do realismo epistemológico e ontológico.

Agradecimentos e apoios

Ao CNPq e FAPESP, pelo apoio financeiro.

Referências

- ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BUCAT, B.; MOCERINO, M. Learning at the sub-micro-level: structural representations. In: GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. (Eds.) **Multiple representations in chemical education**. Netherlands: Springer, 2009.
- DEMING, H. G. **General chemistry**: an elementary survey. 4th. ed. New York: John Wiley & Sons, 1939.
- KOTZ, J. C.; TREICHEL, Jr., P. M. **Química e reações químicas**. 2 v. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- MARTINS, L.; QUEIROZ, J. Morfologia para setas em livros didáticos: uma abordagem semiótica. **Arcos Design**, v. 5, n. 2, p. 2-16, 2010.
- PEIRCE, C. S. **Escritos Coligidos**. Coleção Os Pensadores, v. XXXVI. São Paulo: Abril Cultural, 1974.
- _____. Classificação dos signos. In: PEIRCE, C. S. **Semiótica e filosofia**. São Paulo: Cultrix, EdUSP, 1975.
- SANTAELLA, L. **Semiótica aplicada**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- SOUZA, K. A. F. D. Estratégias de comunicação em química como índices epistemológicos: análise semiótica das ilustrações presentes em livros didáticos ao longo do século XX. 2012. 189p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- SOUZA, K. A. F. D.; CARDOSO, A. A. A formação em química discutida com base nos modelos propostos por estudantes de pós-graduação para o fenômeno de dissolução. **Química Nova**, v. 32, n. 1, 2009, p. 237-243.
- SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. A. Chemistry and chemical education through text and image: analysis of twentieth century textbooks used in Brazilian context. **Science & Education**, v. 21, n. 5, p. 705-727, 2012.
- STJERNFELT, F. Diagrams as centerpiece of a peircean epistemology. **Transactions of the Charles S. Peirce Society**, v. 36, n. 3, p. 357-384, 2000.