

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

**AS ILUSTRAÇÕES SOBRE LIGAÇÕES
QUÍMICAS EM LIVROS DIDÁTICOS DO
ENSINO MÉDIO: UMA ANÁLISE SEMIÓTICA**

CAMILA DE CÁSSIA BADINI CANCIAN

PIRACICABA, SP

2019

AS ILUSTRAÇÕES SOBRE LIGAÇÕES QUÍMICAS EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO: UMA ANÁLISE SEMIÓTICA

CAMILA DE CÁSSIA BADINI CANCIAN

ORIENTADORA: PROFA. DRA. RITA DE CÁSSIA ANTONIA NESPOLI RAMOS

**Dissertação apresentada à Banca
Examinadora do Programa de
Pós-Graduação em Educação da
UNIMEP como exigência parcial
para obtenção do título de Mestre
em Educação**

Piracicaba, SP

2019

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Rita de Cássia Antonia Nespoli Ramos
Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP

Prof. Dra. Karina Garcia Mollo
Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP

Prof. Dr. Thiago Henrique Barnabé Corrêa
Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro – UFTM

*Ao meu esposo Bruno pelo
carinho, incentivo e compreensão
em todas as árduas etapas deste
“projeto de vida”.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço imensamente a Deus por ter me concedido o dom da vida, por ter me presenteado com uma família maravilhosa e abençoada e por todas as oportunidades por Ele a mim concedidas.

Aos meus pais que, apesar de pouca instrução escolar, repletos de sabedoria de vida, sempre foram minha base, me acompanhando, apoiando e me inspirando durante minha trajetória escolar, sobretudo na minha opção por continuar meus estudos e me fazendo ser perseverante e forte nos momentos de recaída. Sem palavras para descrever todo amor e gratidão que sinto por vocês, Rubens e Geny, meu exemplo.

Ao meu esposo Bruno, por todo amor, incentivo, cuidado e principalmente compreensão, por muitas vezes ter-me ausentado durante esses últimos anos e ter me ouvido nas fases de tensão, de desabafo e ter vibrado junto nas conquistas e etapas concluídas. Sua preocupação e valorização no meu trabalho foram primordiais. Te amo!

À minha irmã Erika e minha sobrinha Amanda pelo apoio e palavras positivas que me mantiveram firme até o final. Que Deus abençoe imensamente cada uma de vocês.

À minha amiga-irmã Débora pelo exemplo e incentivo que me fizeram ingressar no mestrado.

Às minhas amigas e parceiras de profissão Adriana e Bárbara pelo apoio, pelas palavras amigas e por tantas vezes ouvirem minhas angústias e aflições.

A todos os colegas de classe com os quais tive o privilégio de conviver por esses meses, compartilhando vitórias e angústias, especialmente às amigas

Dheborá e Jéssica pela amizade e por tantas batalhas vencidas juntas! Com vocês, o caminho se tornou mais suave.

À professora Rita de Cássia Antonia Nespoli Ramos que, apesar das dificuldades que enfrentamos, soube me conduzir sabiamente durante a etapa final deste trabalho, estando sempre de prontidão para dúvidas e esclarecimentos, preocupando-se a todo momento em apropriar-se da semiótica e da química. Sua dedicação e confiança em mim depositada foram imprescindíveis, muito obrigada!

Aos professores e ex-professores do PPGE, principalmente à professora Gláucia Uliana Pinto pelo empenho e dedicação incansáveis, apesar dos tempos turbulentos e em especial às professoras Maria Guiomar Carneiro Tommasiello e Maria Inês Bacellar Monteiro que, além de terem sido minhas orientadoras, são, para mim, inspiração de profissionais comprometidas com o que fazem e seus sábios ensinamentos levarei para vida toda.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, a qual teve extremo valor para a realização e finalização deste trabalho.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Brasil”.

*Velho caminho por onde passou
Carro de boi, boiadeiro gritando ô
ô*

*Velho caminho por onde passou
O meu carinho chamando por mim ô ô*

*Caminho perdido na serra
Caminho de pedra onde não vai
ninguém
Só sei que hoje tenho em mim
Um caminho de pedra no peito também*

*Hoje sozinho nem sei pr'onde vou
É o caminho que vai me levando ô ô*

*(JOBIM, Antônio Carlos e MORAES,
Vinícius de, "Caminho de Pedra").*

RESUMO

A Química está diretamente inserida em nossas vidas, sendo uma ciência primordial para o entendimento do mundo, uma vez que estuda a matéria, sua composição e suas propriedades. Pela exigência de abstração e utilização de modelos, o tema “ligações químicas” é um dos conteúdos que os alunos mais apresentam dificuldades de aprendizagem, pois, para compreenderem este tema necessitam transitar entre as três dimensões da Química: macroscópica, submicroscópica e simbólica. Diante disso, este trabalho se propõe a investigar como se configuram as representações visuais sobre ligações químicas observadas nas ilustrações presentes em livros didáticos atuais de Química do Ensino Médio. Em geral, os docentes de Química se preocupam com a diagramação dos livros no momento da escolha do livro didático que vão utilizar, mas não especificamente com o tipo e qualidade das imagens. Este trabalho intencionou identificar e analisar as ilustrações sobre a temática “ligações químicas” presentes em dois livros didáticos do Ensino Médio aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD/2018) de forma a se conhecer suas restrições e potencialidades, bem como os conceitos científicos essenciais para o estudo de ligações químicas. Com o intuito de contemplar os objetivos propostos, buscou-se respaldo na teoria semiótica de Charles Sanders Peirce. Segundo ela, o conhecimento humano pode ser representado por uma tríade (signo, objeto e interpretante). Tendo, portanto esta teoria como referencial teórico, foram escolhidas as ilustrações presentes no capítulo de ligações químicas dos livros, focalizando-se a caracterização das formas de representação utilizadas para ligações químicas, a relação entre representação e objeto representado, utilizando a tricotomia peirceana – primeiridade, secundidade e terceiridade. Todas as ilustrações sobre esse tema também foram classificadas de acordo com as categorias de análise sugeridas por Javier Perales e Juan de Dios Jiménez (2002), sendo elas: 1) Iconicidade; 2) Funcionalidade; 3) Relação com o texto principal; 4) Legendas verbais; 5) Conteúdo científico que sustenta a imagem e 6) Nível de conhecimento químico no qual se insere a imagem, sendo esta última categoria estabelecida por Johnstone (1993; 2000). Os resultados refletiram que há uma tendência dos autores elegerem as figuras como meio de representação principal para o tema e o nível simbólico de conhecimento químico é o mais recorrente, por tratar-se de um conteúdo altamente abstrato e que exige do estudante certo domínio da simbologia química.

Palavras-chave: Livros didáticos. Ensino. Ligações Químicas. Semiótica.

ABSTRACT

Chemistry is directly inserted in our lives, being a primordial science for the understanding of the world, since it studies the matter, its composition and its properties. By the requirement of abstraction and use of models, the theme "chemical bonds" is one of the contents that the students most present learning difficulties, because, to understand this theme, they need to cross the three dimensions of Chemistry: macroscopic, submicroscopic and symbolic. Therefore, this work intends to investigate how the visual representations on chemical bonds observed in the illustrations present in current textbooks of High School Chemistry are configured. In general, chemistry teachers are concerned with the layout of the books at the time of choosing the textbook that they will use, but not specifically with the type and quality of the images. This paper intends to identify and analyze the illustrations on the theme "chemical bonds" present in two high school textbooks approved in the National Textbook Program (PNLD/2018) in order to know its restrictions and potentialities, as well as scientific concepts essential for the study of chemical bonds. In order to contemplate the proposed objectives, we sought support in the semiotic theory of Charles Sanders Peirce. According to her, human knowledge can be represented by a triad (sign, object and interpretant). Therefore, this theory was used as a theoretical reference, and the illustrations presented in the chapter on chemical bonding of books were chosen, focusing on the characterization of the forms of representation used for chemical bonds, the relation between representation and object represented, using Peircean tricotomy - firstness, secondary and third parties. All the illustrations on this theme were also classified according to the categories of analysis suggested by Javier Perales and Juan de Dios Jiménez (2002), being: 1) Iconicity; 2) Functionality; 3) Relation to the main text; 4) Verbal subtitles; 5) Scientific content that supports the image and 6) Level of chemical knowledge in which the image is inserted, the latter category established by Johnstone (1993, 2000). The results reflect that there is a tendency of the authors to choose the figures as the principal means of representation for the subject and the symbolic level of chemical knowledge is the most recurrent, since it is a highly abstract content and requires of the student a certain domain of symbology chemistry.

Keywords: Textbooks. Teaching. Chemical bonds. Semiotics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação do signo proposta por Peirce	29
Figura 2 – Esquemas das tricotomias de Peirce	30
Figura 3 – Níveis de representação do conhecimento químico	32
Figura 4 – Aspectos do conhecimento químico	33
Figura 5 – Exemplo de imagem do tipo figura	48
Figura 6 – Exemplo de imagem do tipo fotografia	48
Figura 7 – Exemplo de imagem do tipo híbrida	48
Figura 8 – Exemplo de imagem do tipo híbrida	48
Figura 9 – Imagem de modelagem de uma peça de metal	50
Figura 10 – Exemplo de imagem representativa sobre ligações iônicas	52
Figura 11 – Exemplo de imagem representativa sobre ligações covalentes	54
Figura 12 – Exemplo de imagem representativa sobre ligações metálicas	55
Figura 13 – Distribuição gráfica da quantidade de imagens relacionadas à categoria iconicidade	57
Figura 14 – A substância Cloreto de Sódio representada em diferentes níveis de iconicidade	57
Figura 15 – Distribuição gráfica dos dados obtidos da categoria funcionalidade	59
Figura 16 – Exemplos de ilustrações do tipo Inoperante (16a); Operativa elementar (16b) e Sintática (16c)	59
Figura 17 – Distribuição gráfica das imagens quanto à relação entre imagem e texto	60
Figura 18 – Exemplos de relações entre imagem e texto – Conotativa (18a); Denotativa (18b) e Sinóptica (18c)	61
Figura 19 – Distribuição gráfica dos dados obtidos sobre as legendas verbais	62
Figura 20 – Exemplos de imagens de legendas verbais do tipo Nominativa (19a) e Relacionável (19b)	63
Figura 21 – Fórmulas de Lewis	65
Figura 22 – Geometria das moléculas de H ₂ O e CO ₂	66
Figura 23 – Modelo “mar de elétrons”	67
Figura 24 – Quantificação das imagens segundo os níveis de conhecimento químico	68

Figura 25 – Exemplos caracterizando as Dimensões do conhecimento químico – Submicroscópico (25a) e Simbólico (25b).....	68
Figura 26 – Quantificação das imagens quanto à categoria iconicidade.....	69
Figura 27 – Exemplo de imagem do tipo fotografia da categoria iconicidade	70
Figura 28 – Distribuição gráfica dos dados obtidos da categoria funcionalidade	71
Figura 29 – Exemplos de ilustrações do tipo Inoperante (29a); Operativa elementar (29b) e Sintática (29c).....	71
Figura 30 – Quantificação das imagens quanto à relação entre imagem e texto....	72
Figura 31 – Exemplos da categoria Relação entre imagem e texto – Conotativa (31a); Denotativa (31b) e Sinóptica (31c).....	73
Figura 32 – Representação gráfica das imagens classificadas pelas legendas verbais.....	76
Figura 33 – Exemplos de imagens com legenda do tipo Nominativa (33a) e Relacionável (33b)	76
Figura 34 – Retículo cristalino de NaCl	78
Figura 35 – Diagrama de energia para a formação da molécula de H ₂	79
Figura 36 – Modelo “mar de elétrons.....	79
Figura 37 – Representação gráfica das imagens quanto à categoria dimensão do conhecimento químico.....	80
Figura 38 – Exemplos caracterizando as Dimensões do conhecimento químico – Macroscópico (38a) e Macroscópico e Submicroscópico (38b)	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese das três tricotomias de Peirce	30
Tabela 2 – Obras relacionadas para a pesquisa	37
Tabela 3 – Categorias de análise utilizadas	40
Tabela 4 – Descrição da categoria iconicidade	41
Tabela 5 – Categoria funcionalidade e suas subcategorias	41
Tabela 6 – Subcategorias da categoria relação com o texto .principal.....	42
Tabela 7 – Categoria legenda verbal e suas subcategorias.....	42
Tabela 8 – Dimensões do conhecimento químico de Johnstone	45
Tabela 9 – Relação da quantidade de imagens presentes nos livros analisad.....	46
Tabela 10 – Classificação das imagens dos livros analisados.....	47
Tabela 11 – Resultados das análises das imagens pela 1ª e 2ª tricotomia de Peirce.	51
Tabela 12 – Resultados da categoria Iconicidade.....	81
Tabela 13 – Resultados da categoria Funcionalidade.....	82
Tabela 14 – Resultados da categoria Relação entre imagem e texto.....	82
Tabela 15 – Resultados da categoria Legendas verbais.....	82
Tabela 16 – Resultados da categoria Dimensões do conhecimento químico ...	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	O livro didático e as ilustrações no ensino-aprendizagem	14
1.2	O ensino de ligações químicas	19
1.3	As imagens no ensino de ligações químicas.....	25
1.4	A semiótica de Charles Sanders Peirce	28
2	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA DA PESQUISA	32
3	OBJETIVOS	35
3.1	Objetivo Geral	35
3.2	Objetivos Específicos	35
4	METODOLOGIA	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Relação dos livros analisados e separação das imagens de acordo com seu tipo.....	46
5.2	Análise semiótica dos capítulos referentes aos estudos de ligações químicas dos livros selecionados	49
5.2.1	Classificação das imagens quanto às categorias de Peirce.....	49
5.2.2	Imagem analisada sobre Ligação Iônica.....	52
5.2.3	Imagem analisada sobre Ligação Covalente.....	54
5.2.4	Imagem analisada sobre Ligação Metálica.....	54
5.3	Resultados das categorias e subcategorias de análise.....	56
5.3.1	Resultados das categorias de análise do LD 1.....	56
5.3.2	Resultados das categorias de análise do LD 2.....	69
5.4	Comparativo dos resultados das categorias de análise do LD 1 e LD 2 no que se refere às restrições e potencialidades das imagens.....	81
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
7	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 O livro didático e as ilustrações no ensino-aprendizagem

O indivíduo contemporâneo que busca desenvolver-se em uma sociedade, a qual, por sua vez, sofre forte e impactante avanço tecnológico, precisa conhecer desde o ensino básico como os produtos e materiais que o rodeiam funcionam, do que são formados e as transformações que sofreram até chegarem ao produto final, ou seja, possuir, mesmo que básico, um conhecimento das ciências da natureza e suas tecnologias. Esse comportamento possibilita olhar o mundo sob uma nova ótica, a do conhecimento científico, e estimula seu espírito imaginativo, observador e pesquisador, visando solucionar suas dúvidas e curiosidades acerca de sua experiência vivida em um mundo em constante transformação. Estes e outros saberes são edificados durante a trajetória escolar no processo de ensino e de aprendizagem e em sua inserção na vida social.

A aprendizagem envolve múltiplas facetas, como a interação entre o professor e o aluno, o diálogo entre alunos, o contexto social no qual o aluno vive e também os instrumentos didáticos utilizados pelo professor, que auxiliam na consolidação da aprendizagem. Sobre esses instrumentos, o livro didático se destaca (OLIVEIRA, 2014), sendo amplamente utilizado nas salas de aulas do Brasil, apesar das transformações metodológicas implantadas no ensino que ocorrem devido aos avanços tecnológicos.

O livro didático não atua somente na apropriação individual do conhecimento, mas também exerce uma influência marcante no currículo escolar, pois para uma parcela significativa dos professores, o livro é um grande influenciador e facilitador do ensino-aprendizagem, apresentando os conteúdos de forma organizada, buscando fomentar a compreensão do aluno.

De acordo com Scalco (2014), o livro didático é um produto elaborado para o consumo humano apresentando textos escritos, imagens, gráficos, os quais podem interferir como mediadores no processo de aprendizagem, sendo vistos como importante fonte de conhecimento e informação pelo professor. Seu aproveitamento, entretanto, deve ser feito com parcimônia, uma vez que não pode ser utilizado para substituir o professor, pois o livro funciona como subsídio ao ensino-aprendizagem,

contendo ilustrações, gráficos, tabelas e fórmulas que podem ser mal interpretados pelos alunos, destoando do consenso científico vigente se não houver anteriormente a explanação teórica ou prática acerca de tal conceito realizada e mediada pelo professor.

Nos estudos de Choppin (2004), incumbe-se ao livro didático quatro funções: a referencial que diz respeito ao conteúdo curricular, servindo de base para os conteúdos educativos; a função instrumental que concerne aos métodos de aprendizagem, às atividades, aos exercícios que são trabalhados e realizados pelos alunos para a apropriação dos saberes; a função ideológica/cultural, na qual se admite que o livro seja um instrumento propagador da língua e da cultura e a função documental na qual o livro disponibiliza um conjunto de documentos, contendo textos conceituais e ilustrações.

Traçando um panorama histórico do livro didático no Brasil, há registros de seu uso desde 1820, ano o qual foram construídas as primeiras escolas públicas no país. Durante o século XIX, o livro foi ganhando espaço em sala de aula, tendo sua elaboração sempre articulada aos interesses do Estado, com forte influência de obras internacionais, sendo primeiramente dirigido somente aos professores, com o intuito de suprir possíveis defasagens durante sua formação e depois estendido aos alunos no decorrer dos anos (SILVA, 2012).

Em 1931, a Reforma Francisco Campos promoveu uma reestruturação na produção dos livros didáticos, sendo estes escritos por autores brasileiros e passando a ser produzidos em larga escala. A fim de controlar a produção, o conteúdo e a ampliação da distribuição dos livros pelo país, criou-se o Instituto Nacional do Livro (INL), porém os livros eram distribuídos de forma desordenada, sendo que cada estado definia seu critério para distribuição. Com o propósito de estabelecer uma melhor organização, em 1938 instituiu-se a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD), órgão responsável pela política de legislação, controle de produção e circulação dos livros. Nessa época, que se prolongou até o fim do período da ditadura, o livro didático foi usado como propagador ideológico do Estado Novo, condicionando o que se estudava em sala de aula e de acordo com os interesses políticos e econômicos do Estado (FILGUEIRAS, 2013).

No ano de 1945, o professor passou a escolher os livros que os alunos iriam fazer uso e a legislação se consolidou de forma mais efetiva.

Conforme Filgueiras (2013), em 1966, através de um acordo entre o Ministério da Educação (MEC) e a Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID), criou-se a Comissão do Livro Técnico e Livro Didático (COLTED), e com isso possibilitou a distribuição de 51 milhões de livros para o Ensino Fundamental, ampliando a produção e baixando o custo. Um ano depois, em 1967, houve a criação da Fundação Nacional do Material Escolar (FENAME), produzindo materiais a preço de custo para os alunos mais carentes e em 1971 o INL organizou o Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental (PLIDEF) que passa a gerenciar os recursos financeiros antes a cargo da COLTED e se encerra a parceria entre MEC e USAID com a reforma educacional.

No ano de 1976, houve a dissolução do INL e a FENAME assumiu seu lugar como executora do programa do livro didático.

Em 1983, criou-se a Fundação de Assistência ao Estudante (FAE) que substitui a FENAME, e o PLIDEF, em 1985, foi extinto com a criação do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). Nas palavras de Fernandes (2011, p. 2) “O PNLD é um programa de referência para a compreensão do processo de redemocratização brasileira, no campo da política educacional, posto que vem atravessando todos os governos nos últimos 25 anos da história da educação brasileira.”

No ano de 2000, o PNLD promoveu a distribuição de dicionários de língua portuguesa para alunos do Ciclo I do Ensino Fundamental.

Em 2003, o PNLD criou o Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLEM) através do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) do Ministério da Educação (MEC) e iniciou com a distribuição de livros para as escolas públicas somente das disciplinas de língua portuguesa e matemática para as regiões Norte e Nordeste, como projeto piloto, sendo depois ampliada para todo o país no ano de 2005. No ano de 2007, para utilização em 2008, houve distribuição de livros das disciplinas de biologia, história e química, atendendo todas as escolas do país e posteriormente as demais disciplinas foram sendo agregadas (BRASIL, 2004).

Com o passar dos anos, o PNLD assumiu a distribuição de todos os livros, sendo eles para Ensino Fundamental ou Médio, caindo em desuso o PNLEM. Atualmente o PNLD promove a distribuição de livros trienalmente, sendo que os livros são previamente selecionados e analisados quanto aos requisitos curriculares exigidos pelo MEC por uma equipe de profissionais da educação, para compor o

catálogo de obras aprovadas, para posteriormente ser disponibilizado aos professores para que possam fazer a escolha do livro didático que usará pelos próximos três anos.

A análise de livros didáticos faz parte uma linha de pesquisa consolidada nos programas de pós-graduação do Brasil. Em relação a livros de Química, vários autores já se dedicaram a estudar essa temática, como Schnetzler (1980) que em sua dissertação de mestrado analisou 6 livros, sendo o primeiro, publicado em 1875 e o último, em 1929; Mortimer (1988a), que investigou a evolução dos livros didáticos de Química no Brasil, desde publicações antigas, anteriores à reforma Francisco Campos de 1930, até publicações da década de 1980; Mortimer e Santos (2008) que analisaram o processo de constituição da Inovação x Redundância nos Livros Didáticos de Química de 1833 a 1987; Souza e Porto (2012), que avaliaram 31 livros de diversas nacionalidades e em outro trabalho, de 2013, apresentaram uma análise iconográfica e textual de 32 obras destinadas ao ensino de Química Geral nas universidades brasileiras durante o século XX; Mori e Curvelo (2014) que analisaram 3 livros (de 1875, 1883 e 1907), entre outros autores.

De acordo com Fanaro et al. (2005) os autores, ao escreverem seus livros didáticos, atentam-se sobre as recompensas e vantagens que o uso de representações visuais podem trazer para melhorar o aprendizado, como reduzir a abstração dos conceitos científicos, facilitar a compreensão, melhorar a memorização, promover a imaginação, introduzir os fenômenos científicos de uma forma vinculada ao cotidiano, colaborar na resolução de problemas, motivar os estudantes e os leitores em geral.

Mas, apesar da importância da dimensão icônica das imagens nos livros, não há no Brasil uma linha de investigação específica, como a que sugeriram os pesquisadores espanhóis Perales e Jiménez em um artigo publicado em 2002, no qual expuseram o processo de elaboração e validação de uma taxonomia para a categorização das ilustrações. Os autores estabeleceram as seguintes categorizações: sequência didática (afirmações, referências ou problemas inseridos pelos autores ao longo do texto), iconicidade (grau de complexidade da imagem); funcionalidade (o que se pode fazer com as imagens); relação com o texto (referências mútuas entre texto e imagem); legendas verbais (textos incluídos nas ilustrações) e conteúdo científico (as imagens se apoiam ou não em representações-chave para a correta interpretação dos fenômenos).

Na visão pedagógica de Carneiro (1997), uma imagem pode contribuir para a aprendizagem de conhecimentos científicos, mas para isso ocorrer, “o professor deve auxiliar o aluno na leitura das mesmas, pois a imagem por si só não pode ser considerada uma fonte de aprendizagem” (CARNEIRO, 1997, p. 367). Nosso cérebro se desenvolveu a fim de processar as informações visuais organizando-as em modelos que reconstruem internamente a realidade, dando-lhes sentido. Por isso, se diz que ver é conhecer (COSTA, 2005).

Levie e Lentz (apud PERALES e JIMÉNEZ, 2002) efetuaram um estudo sobre a influência que as imagens proporcionam no processo de ensino e aprendizagem dos alunos e para isso fizeram uma revisão em 58 trabalhos e constataram que neste quesito, as ilustrações que somente ornamentam o texto não são significativas. Já as ilustrações que repetem as informações do texto auxiliam na aprendizagem, sendo que, em alguns casos, podem substituir os textos com eficiência, pois, muitas vezes, a visualização contribui para o processo de significação e conceitualização. O uso adequado das imagens pode ser um recurso potencializador para uma melhor compreensão dos textos (GIBIN e FERREIRA, 2013), todavia, os leitores podem apresentar dificuldade para compreender as ilustrações complexas se não for fornecido nenhum subsídio no momento da leitura e, além disso, muitos geralmente fazem uma leitura superficial das imagens, pois não esperam que elas apresentem informações relevantes.

Como Lemke (2006) aponta, o aprendizado ocorre não só por meio da linguagem (oral ou escrita), mas por meio também de diferentes tipos de representações visuais, estáticos (os livros didáticos) e dinâmicos, combinando texto e imagem através de processos que não são espontâneos, mas sim que precisam ser ensinados de forma específica.

Para este autor, nos livros científicos predominam combinações de texto com imagens visuais (tabelas, gráficos, mapas, desenhos, diagramas) denominadas de gêneros multimídia, sendo que essas combinações melhoram o entendimento. Lemke (2010), no entanto, chama a atenção quando afirma que “em multimídia as possibilidades de significação não são meramente aditivas”, ou seja, esses vários gêneros não são variações da forma de dizer uma mesma coisa, pois “[...] o texto significa mais quando justaposto à figura, e da mesma forma a figura quando colocada ao lado de um texto” (LEMKE, 2010, p.462).

O livro didático é vastamente utilizado em todas as áreas de estudo escolar, contribuindo para a apropriação e mediação do conhecimento por conter diversos signos (enunciados, ilustrações, equações, diagramas, gráficos, entre outros) especialmente nas áreas que requerem maior abstração por parte do estudante, como é o caso das ciências da natureza e suas tecnologias, especificamente a Química, além disso, as ilustrações possuem grande apelo na nova geração de alunos, o que torna uma investigação ainda mais relevante na área de ensino de Química.

1.2 O ensino de ligações químicas

A Química está intimamente presente em nossas vidas, sendo uma ciência primordial para o entendimento do mundo, uma vez que estuda a matéria, sua composição e suas propriedades. De um modo geral, seus conteúdos se inter-relacionam, sendo “ligações químicas” um dos tópicos mais recorrentes para a compreensão de diversos fenômenos e suas especificidades.

A literatura consultada sobre ligações químicas e seu papel ressaltam a condição *sine qua non* a qual ela ocupa em Química, bem como sua indispensável relevância na compreensão de outros temas. O estudo e compreensão das ligações químicas são de grande relevância nesta ciência e para o desenvolvimento do estudante enquanto cidadão do mundo contemporâneo, pois, por meio dessas ligações que se tornam possíveis a existência de diversas substâncias naturais e desenvolvidas pelo homem. De acordo com Linus Carl Pauling (1992)¹ o desenvolvimento do estudo das ligações químicas ao longo dos últimos 150 anos tem sido uma das maiores evoluções do intelecto humano. O autor acredita que não haja um químico sequer que não faça uso desse conceito em seu raciocínio sendo que essa temática está atrelada ao desenvolvimento da ciência e tecnologia.

Segundo González-Felipe et al. (2015, p. 61):

O entendimento das ligações químicas é essencial para que os alunos compreendam e expliquem as propriedades físicas e químicas das substâncias e o modo como as partículas se interagem, bem como a importância disto na síntese de novos compostos e o seu impacto na melhoria da qualidade de vida.

¹ Linus Carl Pauling (1901-1994): Bioquímico e químico quântico estadunidense ganhador do prêmio Nobel da Paz em 1962.

No entanto, Kutzelnigg (1984, apud GARCÍA e GARRITZ, 2006), considera que a ligação química por ser um fenômeno altamente complexo impede qualquer tentativa de uma descrição simples.

Conforme apontam Vasconcelos e Julião (2011, p. 139):

Ligação química é, sem dúvida, um dos principais tópicos estudados em Química. Uma completa compreensão dos conceitos relacionados às ligações químicas é essencial para o entendimento de muitos outros tópicos em Química, tais como reações químicas, diferenciação entre íons, moléculas, compostos metálicos e formação dos compostos de carbono, além de fornecer subsídios para o entendimento das muitas transformações que ocorrem em nosso mundo. Entretanto, a atual abordagem adotada no Ensino Médio para esse tema parece ser inconveniente, e isso é consequência de uma linguagem fragmentada, que envolve muitos conceitos que são inadequadamente conectados.

De acordo com Mortimer et al. (1994), a Química tem forte tendência a seguir uma vertente dogmática e ritualística ao ser ensinada, pelas suas técnicas mnemônicas “[...] para memorizar a ordem dos elementos químicos ao diagrama de Pauling, das regras de nomenclatura às regras para se determinar os números quânticos de um elétron num átomo [...]”, todavia não se nega que tais técnicas podem tornar mais ágil o processo de resolução de problemas. “No entanto, é inaceitável que esses procedimentos substituam, como fonte de explicação para os fatos químicos, os princípios químicos que lhes deram origem” (MORTIMER et al. 1994, p. 251).

Na concepção de Miranda e Costa (2007), o ensino de Química, na maioria das escolas, enfatiza a memorização e a mera transmissão de conteúdos em detrimento à apropriação do conhecimento científico dos estudantes, causando impacto negativo na aprendizagem. Isto porque os alunos podem não perceber a vinculação entre sua vida, o que estudam em sala de aula e o conteúdo de ligações químicas. Assim, ao ser ensinada, seguindo essa vertente memorística, o aproveitamento pode não ocorrer de maneira satisfatória, mas propiciar o esquecimento por parte do estudante do que foi trabalhado.

Mesmo após uma educação formal em Química, os estudantes apresentam falhas na compreensão dos conceitos químicos e não conseguem fazer relações importantes. Além disso, deve-se ressaltar o fato há muito conhecido de que os alunos apresentam explicações

para os fenômenos muitas vezes diferentes daquelas que seriam aceitáveis cientificamente (concepções alternativas). (FERNANDEZ e MARCONDES, 2006, p. 20).

Tal qual Bergqvist (2013), o conceito de ligação química é um dos assuntos mais importantes ensinados em Química no Ensino Médio, sendo dominado pelo uso de modelos e, segundo conclui em sua pesquisa, o uso de modelos na educação científica pode causar dificuldades na percepção dos alunos.

Este autor enfatiza também a frequência do uso da descrição antropomórfica no âmbito da ligação química e da educação científica em geral. O antropomorfismo ocorre quando as características humanas são atribuídas a seres inanimados. Embora as explicações antropomórficas possam ser úteis nos estágios iniciais de aprendizagem sobre a ligação química (e os conceitos de ciência em geral), elas podem, por outro lado, tornarem-se um obstáculo epistemológico para o aprendizado adicional dos alunos, que possuem uma tendência geral a se aterem nesta etapa antropomórfica, dificultando a evolução do pensamento abstrato.

Taber (1993, 1997a), em suas pesquisas, verificou que o antropomorfismo é habitualmente utilizado também por estudantes universitários ao explicarem sobre o motivo das ligações entre os átomos ocorrerem, que, segundo relatos, os átomos “desejam” se tornarem estáveis porque “gostam” ou “preferem” estar assim. Mesmo considerando o uso frequente da linguagem antropomórfica como um impedimento para o aprofundamento da aprendizagem, Taber concluiu que quando esse tipo de linguagem é empregado metaforicamente, pode ser o recurso facilitador na fase de familiarização, na qual os estudantes estão apropriando-se das descrições de processos a nível atômico e molecular. Porém o autor ressaltou que à medida que os conceitos vão sendo incorporados, o antropomorfismo deve ser substituído pela linguagem mais científica.

Gilbert (2005), em suas pesquisas, tratou sobre o uso de modelos mentais nos processos de visualização das imagens na educação em ciências e verificou que várias pesquisas sugerem que a visualização molecular é um processo de modelagem mental que utiliza representações e operações. As pessoas por pensarem com modelos visualizam ou imaginam fatos e que um modelo é uma visualização da realidade. Os alunos ao pensarem como ocorre, por exemplo, a tensão superficial da água, primeiramente visualizam o fenômeno mentalmente,

pensando nos conceitos envolvidos como ligações de hidrogênio, polaridade, eletronegatividade, para depois representarem esse fenômeno, sendo essa representação o objeto e resultado dessa operação.

Conforme Fernandez e Marcondes (2006) e Blanco e Prieto (1996), os professores devem ficar atentos tanto ao nível de linguagem que utilizam ao explicarem os diversos conteúdos químicos, como também ao usarem os modelos explicativos para introduzirem as ideias de átomos, moléculas e ligações químicas, como círculos, bolas, núcleo e camadas, bolas separadas ou juntas etc., pressupondo que os alunos compreendam facilmente o significado disso (diferentes modelos com diferentes propósitos). Os diversos modelos usados sem explicação podem levar o estudante a se confundir e induzir ao erro comum de tratarem os átomos e moléculas como se fossem substâncias, por exemplo.

Ao comparar livros antigos com livros da década de 1980, Mortimer (1988b) notou que a atualização dos livros mais novos em relação a grande parte dos assuntos de teoria atômica, ligação química e classificação periódica é apenas aparente.

Em primeiro lugar porque a abordagem dessas teorias desvinculadas das propriedades dos materiais leva a uma visão distorcida do que sejam uma teoria e um modelo em química. As teorias são apresentadas como a própria realidade na química de quadro-negro. Em segundo lugar, os livros didáticos não conseguem ressaltar todas as implicações das teorias modernas sobre estrutura atômica e ligação química para o restante do conteúdo, que continua, na sua maior parte, a ser abordado em moldes clássicos. A consequência é que os modelos de estrutura atômica e ligação química vão ser apresentados como teorias isoladas, sem maiores aplicações além da previsão da valência dos elementos e da fórmula dos compostos. Em terceiro lugar, os livros continuam a errar em relação a vários conceitos exaustivamente discutidos, com a crítica aos erros, em congressos de educação química que se realizam no país desde a década de 30 (MORTIMER, 1988b, p.39).

Considerando pertinente essa crítica de Mortimer à forma de abordagem das teorias desvinculadas das propriedades dos materiais, no caso específico de ligação química, García e Garritz (2006) postulam ser importante, ao se abordar ligações químicas - iônica (interação entre átomos que atraem mais fortemente ou mais

fracamente os pares eletrônicos para si, originando íons²), covalente (ligação entre átomos em que ocorre o compartilhamento de elétrons) e metálica (ligação entre os átomos de metais), estudar as suas aplicações. Assim, ao tomar conhecimento das propriedades dos materiais, o estudante poderá compreender melhor sobre os usos e aplicações de diversos materiais no cotidiano, suas limitações e seus benefícios para determinado fim, isto é, encontra uma ligação entre o que aprende na escola com o que vive e o estudo sobre ligações químicas torna-se mais significativo.

García e Garritz, em seu trabalho, esmiúçam as aplicações dos diversos modelos utilizados para se explicar a natureza, propriedades e especificidades das substâncias e materiais. A seguir se reproduz alguns desses conceitos:

Aplicações do modelo iônico:

- Os cristais iônicos têm altos pontos de fusão devido às forças eletrostáticas multidirecionais existentes entre os íons;
- Os cristais iônicos se rompem quando submetidos a altas pressões, à medida que os planos iônicos de repulsão são formados;
- Cristais iônicos não conduzem eletricidade (estado sólido), mas se fundem, devido à presença de íons móveis;
- Os cristais iônicos, quando se dissolvem, conduzem eletricidade através de seus íons dissociados.

Aplicações do modelo covalente:

- Substâncias formadas por moléculas (claro, com ligações covalentes) podem se dissolver na água, ou não, dependendo da sua polaridade;
- Existem substâncias que, quando dissolvidas em água, não produzem partículas carregadas; isto é, nem todas as substâncias são formadas por íons. Portanto, eles não conduzem eletricidade, nem sólidos, nem derretidos, nem dissolvidos;
- Essas substâncias são formadas por moléculas neutras, onde os átomos que os compõem estão fortemente ligados, por elos direcionados em apenas uma direção;
- As substâncias moleculares covalentes têm suas moléculas ligadas no estado sólido por forças intermoleculares pouco intensas, então seu ponto de fusão é baixo. Normalmente, as substâncias moleculares são gases ou líquidos à temperatura ambiente. Somente sólidos covalentes (diamante, grafite, sílica), com forças multidirecionais, possuem altos pontos de fusão.

Aplicações do modelo metálico:

- É aquele que ocorre nos metais, através de uma ligação entre íons positivos, acomodados nos pontos da estrutura cristalina, e elétrons livres que são deslocalizados sobre todo o cristal;

² Os íons são átomos que possuem uma carga elétrica por adição ou perda de um ou mais elétrons, portanto um ânion, de carga elétrica negativa, se une com um cátion de carga positiva formando um composto iônico por meio da interação eletrostática existente entre eles.

- Os íons positivos na ligação metálica formam, em geral, estruturas de três tipos: cúbico de faces centradas, cúbico de corpo centrado e hexagonal compacto;
- A grande força coesiva resultante da deslocalização eletrônica é responsável pela firmeza dos metais;
- A mobilidade dos elétrons deslocalizados faz dos metais bons condutores de calor e eletricidade;
- Os metais são dúcteis e maleáveis porque suas estruturas cristalinas podem se deformar sem formar planos de repulsão iônica (GARCÍA e GARRITZ, 2006, p. 113, tradução nossa).

Ao estudar Química, o aluno se adentra em um universo repleto de modelos imaginados e convencionados com o intuito de explicar o real a nível microscópico e depara-se com fórmulas que fazem uso de vários símbolos e aprende a manipulá-las de acordo com seu propósito.

Nas palavras de Leites et al. (2008, p. 157) “as fórmulas não são fotografias de uma realidade, mas tampouco são invenções arbitrárias [...]. São convenções simbólicas usadas por químicos para comunicar certos aspectos da experiência sensível”.

Diante do uso dos mais variados signos e representações utilizados pelos professores na abordagem de Ligações Químicas, a pesquisa realizada por Garcia e Palacios (2006), aborda as representações mais usadas pelos professores de Química durante as aulas. Essas representações foram classificadas como textos, gráficos, diagramas e equações e puderam concluir que a escolha do professor em eleger um tipo de representação a outro pode determinar o que os alunos aprenderão, uma vez que acabam não tendo contato com todas as representações possíveis para um mesmo conteúdo. Sobre isso, os autores indicam que sejam utilizadas mais amplamente as diversas formas de representação, oportunizando uma aprendizagem mais efetiva.

Em seus estudos, Wartha e Rezende (2011) esclarecem que o conhecimento de fórmulas, equações, ligações e mecanismos de reações não deveriam ser o objetivo principal no ensino e aprendizagem de Química. Do ponto de vista deles, o desenvolvimento da imaginação seria o mais importante, em resultado “das evidências observadas, dos dados analisados e da capacidade de criar modelos explicativos por meio da capacidade de representar átomos, moléculas e transformações químicas”.

A importância de se compreender o conceito por meio da explicação teórica e/ou empírica do professor, em conjunto com os textos explicativos e as ilustrações são cruciais para a apropriação dos diversos saberes.

Em conformidade com Silva et al. (2006), a compreensão de conceitos e fenômenos pode ser, em muitos casos, fomentada pelos aspectos atribuídos às imagens e às ideias que estas podem comunicar, mesmo considerando que nem todos os conceitos se estabelecem a partir da sua própria representação teórica.

Pereira Junior e Azevedo (2011) ressaltam que, dependendo de como serão trabalhados os conceitos, podem ocorrer tanto aprendizagem real quanto apenas memorização de termos e exemplos que não serão compreendidos por não terem significado algum para o estudante. Observam também que é fundamental a sugestão de novas táticas para o ensino de ligações químicas, assim os professores terão novas alternativas e técnicas de ensino para serem utilizados em sala de aula.

Atualmente insere-se, cada vez mais, a tecnologia no âmbito educacional, como os recursos audiovisuais diversos (por exemplo: vídeos, animações, simuladores de processos de laboratório e de montagem de moléculas, aulas em slides com o uso de Datashow) que o professor pode utilizar como aliados no aprendizado dos estudantes, sendo mais uma forma de representação sobre o conteúdo ensinado e os modelos envolvidos.

1.3 As imagens no ensino de ligações químicas

A imagem por ter propensão à mobilização pode nortear a aprendizagem, mesmo que sozinha ela não induza necessariamente a compreensão do conceito, pois o entendimento da imagem nem sempre imediato, cabendo ao professor saber como fazer o uso dela, levando o aluno a perceber, entre outros fatores, os elementos que constituem a imagem trabalhada. Quando o professor leva para sala de aula a imagem do fenômeno ou objeto, é como se ele levasse o próprio fenômeno ou objeto, visto que, a imagem de alguma coisa tem a propriedade de substituir a visão desta própria coisa (SILVA et al., 2006).

Souza e Porto (2012), comparando as ilustrações de 32 livros de Química do século XX de diversas nacionalidades, perceberam que os livros franceses tendem a enfatizar as experiências e aparatos experimentais, já os livros americanos se orientam para aplicações práticas e os alemães buscam um tratamento matemático

trazendo mais gráficos, enquanto que nos livros brasileiros predominam os textos escritos, talvez, segundo os autores, como resquício das características do ensino jesuítico que enfatizava os estudos clássicos e intelectuais. O reduzido número de ilustrações versava sobre modelos químicos, sobre indústria e equipamentos e fatos da vida diária.

Muitos professores utilizam em suas aulas o livro didático como referencial ao ensino de ligações químicas (LEMES et al., 2010), usam exemplos em sala de aula e problemas propostos, tornando esse material uma ferramenta essencial para a apropriação desse conhecimento. Em geral, os docentes de Química se preocupam com a diagramação no momento da escolha do livro didático que vão utilizar, mas não especificamente com o tipo e qualidade das ilustrações. Dependendo de suas potencialidades, as ilustrações podem corroborar de maneira significativa a compreensão de conteúdos abstratos e microscópicos que norteiam a química, em específico as ligações químicas. Em geral “a palavra imagem é interpretada apenas como ilustração, no entanto, ela possui funções que vão além do seu papel ilustrativo” (SEBATA, 2005, p.3).

Mortimer (1988b, p. 26) constata que até a década de 1960, “os livros trazem quase que exclusivamente textos; os títulos ocupam pouco espaço, e as ilustrações são em número bem reduzido”, enquanto que os livros da década de 1980 parecem estar mais preocupados com a forma de apresentação do conteúdo do que com o conteúdo propriamente dito (MORTIMER, 1988a).

De acordo com Silva et al. (2006, p. 220) “as imagens são pouco exploradas em sala de aula, o que leva a inferir que boa parte dos professores considera que as imagens falem por si ou ‘transmitam’ um único sentido”.

A imagem para retratar fenômenos químicos nos livros didáticos foi se complexificando ao longo do tempo, por exemplo, as imagens feitas pelo uso de microscopia eletrônica para demonstrar o retículo cristalino presentes em compostos iônicos. Isso significa que a imagem está ganhando cada vez mais em iconicidade, conforme os livros se atualizam (SILVA et al, 2006).

Pro (apud LEITES et al., 2008) define o grau de iconicidade como o grau de realismo de uma imagem em comparação com o objeto que representa, por exemplo, um retrato é mais icônico do que uma caricatura, uma fórmula química ou uma página escritas são ainda menos icônicas, isto é, menos parecidos com o que representa, então podemos dizer que eles têm zero grau de iconicidade. Para Leites

et al. (2008), a iconicidade é oposta à abstração. Quanto mais abstrata a imagem, tão menos icônica será.

Moles (1981) entende que a iconicidade é definida pela proporção do concreto mantido nos esquemas. Este autor elaborou uma escala de iconicidade que possui doze níveis, iniciando com a representação mais real do objeto (modelo em três dimensões e em tamanho natural), percorrendo por modelos bidimensionais ou tridimensionais (globo terrestre, mapas geológicos), fotografias e projeções realistas até chegar ao último nível, o mais abstrato de todos, que define o objeto através do uso de palavras normatizadas ou fórmulas algébricas.

As imagens são adotadas por Lemke (1998) como um símbolo indissociável do discurso das ciências da natureza, visto que a ciência natural é majoritariamente um discurso sobre a materialidade do mundo. Ressalta que:

Quando cientistas pensam, falam, trabalham e ensinam, eles não usam apenas palavras; eles gesticulam e movimentam-se em espaços visuais imaginários definidos por representações gráficas e simulações, que por sua vez possuem expressões matemáticas que também podem ser integradas à fala [...] Eles combinam, interconectam e integram texto verbal com expressões matemáticas, gráficos quantitativos, tabelas informativas, diagramas abstratos, mapas, desenhos, fotografias e uma série de gêneros visuais únicos que não podem ser vistos em lugar algum (LEMKE, 1998 apud SOUZA, 2012, p. 92).

Santaella (2004, p. 57) salienta que “não há conhecimento sem interpretação, [...] todo conhecimento é condicionado pelos fatores anteriores a ele no processo de cognição e só se revela no momento em que é interpretado num conhecimento subsequente”.

Assim, faz-se primordial o bom uso do livro didático e suas imagens a fim de promoverem um menor distanciamento do pensamento cotidiano do estudante com o conhecimento químico sistematizado. Com o avanço nos recursos gráficos, as ilustrações nos livros didáticos foram se aprimorando em detalhes das teorias que as encabeçaram. Essas representações impressas em papel, bem como as imagens virtuais construídas ou modelos palpáveis como o de bolas e varetas contribuem significativamente à construção e divulgação do conhecimento científico (SOUZA e PORTO, 2012).

1.4 A semiótica de Charles Sanders Peirce

A ciência chamada Semiótica tem por objeto de investigação todas as linguagens possíveis, ou seja, tem por objetivo o exame dos modos de constituição de todo e qualquer fenômeno como fenômeno de produção de significação e de sentido (SANTAELLA, 2012).

Segundo Fernandes (2012), a etimologia da palavra semiótica origina-se do grego “*seme*”, como em “*semeiotikos*”, intérprete de signos. A palavra signo vem do latim “*signum*”, que provém do grego “*secnom*” que significa “*cortar*”, “*extrair uma parte de*”. A semiótica, como disciplina, é a análise dos signos ou o estudo do funcionamento do sistema de signos.

A concepção de signo é a base para o pensamento, a ação, a percepção e a emoção, sendo aquilo que nos antecipa o conhecimento e todo o nosso conhecimento ocorre por intermédio dos signos (SILVA, 2008).

A mediação é a principal característica dos signos, dado que eles permeiam entre a pessoa e o mundo para organizar as atividades de produção cultural, simbólica e material e também para servir de estrutura para o pensamento.

Os estudos sobre o campo da Semiótica sustentam a ideia de que a cultura oferece uma ampla gama de regras, sinais e símbolos que são utilizados de modo consciente ou não pelo indivíduo, garantindo a sua interação com o mundo, “criando” e “lendo” seu ambiente de aprendizagem. A Semiótica potencializa o ensino e aprendizagem, por justamente somar ao cotidiano do indivíduo esses símbolos, sinais e regras (SHAPIRO, 1998).

Vários são os cientistas que se debruçaram sobre o estudo da Semiótica. A escolha por Charles Sanders Peirce³ neste estudo deu-se pelo fato de que foi um estudioso de diversas áreas do conhecimento, motivado pelo seu interesse pela lógica das ciências, entre eles a química e seus estudos serem baseados em tricotomias ou tríades, assemelhando-se ao conhecimento químico também concebido por tricotomias. O objetivo de Peirce era de criar uma teoria que fosse capaz de ser aplicável a todas as áreas de conhecimento, ou melhor, delinear os princípios fundamentais dos métodos do conhecer, utilizando a lógica das ciências como vetor de suas investigações (SOUZA e PORTO, 2012).

³ Charles Sanders Peirce (1839-1914): Exímio cientista de diversas áreas, psicólogo, lógico e filósofo estadunidense, precursor da Semiótica moderna.

Nas palavras de Souza e Porto (2012, p. 03) “Peirce voltou-se para os fenômenos, [...] realizando extensa análise de como eles se apresentam à experiência, com o objetivo de mapeá-los e caracterizá-los, de propor categorias universais [...]”.

De acordo com a teoria Semiótica de Peirce, o conhecimento humano pode ser representado por uma tríade: *representâmen*, objeto e interpretante, podendo ser representado como sendo os vértices de um triângulo equilátero (Figura 1). Um signo, para Peirce, é tudo aquilo que representa algo para alguém, é a parte perceptível do signo (*representâmen*) tais como desenhos, símbolos, sinais. Seria tudo aquilo que está relacionado com uma segunda coisa e que a representa. Essa segunda “coisa” é chamada de objeto e este pode existir de maneira concreta ou não (GOIS e GIORDAN, 2007). O interpretante se refere à criação na mente de alguém de um signo equivalente ou mais desenvolvido que o signo interpretado. Portanto, partindo dessa tríade formada, os processos de significação podem ser melhor compreendidos.

Figura 1 - Representação de signo proposta por Peirce



Fonte: ROQUE (2007)⁴.

Peirce (2010) propôs que a análise das qualidades universais dos fenômenos (análise fenomenológica) permite a ideia de três categorias gerais abrangendo a apreensão e tradução de tudo o que aparece à nossa consciência. São elas as classificações dos signos: primeiridade (qualidades da figura), secundidade (relação signo-objeto) e terceiridade (compreensão ampla do conceito representado na imagem), de acordo com a figura 2. Elas se inter-relacionam, sendo que a secundidade precisa da primeiridade, enquanto a terceiridade une primeiridade e

⁴ Disponível em: <<https://amusearte.hypotheses.org/1075>>. Acesso em: out. 2017.

secundidade. Destarte, um signo, sendo classificado em nível de terceiridade, revelará aspectos de primeiridade e secundidade, uma vez que essas categorias ou classificações permitem a compreensão e a tradução do fenômeno em signo.

Figura 2 – Esquema das tricotomias de Peirce



Fonte: Adaptado de Peirce (2010).

Conforme Rozentalski e Porto (2015), ao se observar uma ilustração, por exemplo, de um casaco vermelho, o nível de primeiridade ocorre quando temos o primeiro contato com a cor vermelha, pois causa um efeito em nós somente no nível perceptivo, no nível de qualidade. Ao se fazer um esforço no sentido físico - mental de relacionar o percebido com um segundo (nível de secundidade), observar-se-ia casaco vermelho. Mas como podemos estabelecer um hábito ou regra geral de que tal casaco vermelho é usado em dias de frio, ter-se-ia a terceiridade. Na terceiridade, em que ocorre a formação do *signo*, há a mediação ou transformação da primeiridade e secundidade, segundo Trevisan e Carneiro (2009).

Para Peirce (2010), os signos podem ser analisados segundo três tricotomias: o signo em relação a si mesmo, o signo em sua relação com o objeto, e o signo em sua relação com o interpretante gerado, conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Síntese das três tricotomias de Peirce

	Significação	Objetivação	Interpretação
	1ª Tricotomia Signo em si mesmo	2ª Tricotomia Signo com seu objeto	3ª Tricotomia Signo com seu interpretante
Primeiridade	Qualissigno	Ícone	Rema
Secundidade	Sinsigno	Índice	Dicente
Terceiridade	Legissigno	Símbolo	Argumento

Fonte: Do Autor.

De acordo com a primeira classificação, um signo pode ser um qualissigno quando for mera qualidade, por exemplo, a cor verde; um sinsigno quando for um existente concreto, um acontecimento real e pode envolver vários qualissignos, como por exemplo, a cor verde é uma cor, é sinal livre de passagem de trânsito, sinal da natureza e um legissigno quando tratar-se de lei geral, convencionalizada pelos intérpretes do signo, podendo ser uma lei regional, cultural, não sendo necessariamente fundamentada em um código civil ou penal, como por exemplo, o verde no semáforo existe primeiro como um sinsigno antes de uma lei de trânsito, sendo a lei uma abstração (PEIRCE, 2010).

Existem, para esse autor, três tipos de relações do signo com o seu objeto: o ícone é quando o signo possui alguma semelhança com o seu objeto representado, quando nos faz lembrar de algo (exemplo: vermelho sangue); o índice quando o signo possui uma ligação física direta com o objeto, nos mostra algo que aconteceu ou acontecerá (exemplos: pegadas na areia, nuvens carregadas indicando chuva) e o símbolo é quando o signo é associado ao seu objeto em virtude de uma lei ou convenção, citando como exemplos as próprias palavras, as bandeiras dos países.

A terceira tricotomia relaciona o signo com seu interpretante. Um rema é um signo que abrange todas as possibilidades que o signo representa e pode ser; um dicente é um signo de forma real, corresponde a um enunciado e envolve remas na descrição do fato e o argumento é uma justificativa, é um signo de razão.

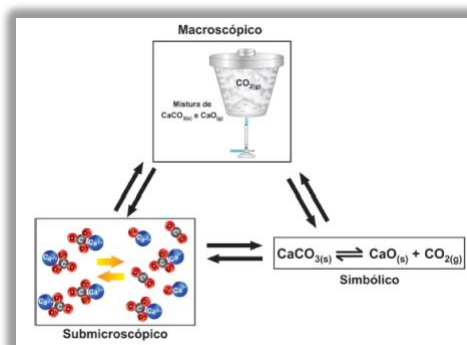
Neste trabalho serão utilizadas somente as duas primeiras tricotomias, cujas contribuições apresentam maior relevância para esta pesquisa.

De acordo com Wartha e Rezende (2011), o aprofundamento da análise semiótica, em especial de origem peirceana, como a que é referencial teórico deste trabalho, a respeito das ilustrações sobre ligações químicas, poderá contribuir para uma maior compreensão sobre as estratégias de apropriação e comunicação desse conhecimento químico, visto que, poderá auxiliar 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.

2 JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DA PESQUISA

Pela exigência de abstração e utilização de modelos, o conteúdo de ligações químicas é um dos considerados mais difíceis pelos alunos, pois estes, para compreenderem o fenômeno, necessitam transitar entre as três dimensões do conhecimento químico, segundo Johnstone (1993; 2000): macroscópico (nível sensorial e tangível); submicroscópico (nível que compreende moléculas, átomos, íons) e simbólico (nível representacional, que são os símbolos, fórmulas, equações, gráficos); representados na Figura 3.

Figura 3 - Níveis de representação do conhecimento químico



Fonte: GIBIN e FERREIRA (2013).

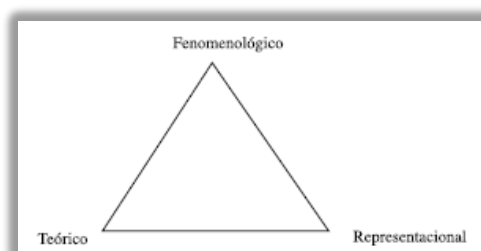
Conforme este autor, grande parte das coisas que temos contato no mundo e pelas quais formamos os nossos conceitos estão no nível macro. Mesmo ideias abstratas como “amor” são mostradas por maneiras mais tangíveis, usando referências do real. A Química, sob a ótica macro, é a situação experiencial, entendida como aquela que se faz no laboratório ou na cozinha, por exemplo. Contudo, para Química ser bem compreendida, ela deve passar pelo nível submicroscópico, para interpretarmos o comportamento das substâncias com as lentes do invisível e do atômico-molecular por meio de notações e linguagens representacionais.

Segundo Johnstone (2000, p. 11), “o entendimento do nível submicroscópico é a força de nossa disciplina como atividade intelectual, e a fraqueza de nossa disciplina quando tentamos ensiná-la, ou o mais importante, quando os estudantes tentam aprendê-la”.

Mortimer e colaboradores (2000) reformulam esses níveis como sendo (Figura 4): teórico, associado ao uso de modelos e pensamento abstrato;

fenomenológico, vinculado ao uso da experimentação e dos sentidos; e representacional referente ao uso da linguagem química, ou seja, símbolos, fórmulas e equações. Deste modo, para que o estudante possa ter uma compreensão ampla da ciência química, é imprescindível conhecer esses níveis de representação e conseguir transitar entre eles a fim de serem capazes de efetuar as operações práticas como também refletir sobre elas, utilizando como subsídio os modelos explicativos do real.

Figura 4 – Aspectos do conhecimento químico



Fonte: Minas Gerais, SEEMG (1998).

Alguns autores (KLEINMAN, GRIFFIN e KERNER, 1987, apud WARTHA e REZENDE, 2015) sugerem que alunos, ao não estabelecerem relações entre os componentes conceituais e visuais, podem apresentar dificuldades em aprender Química. Para Habraken (1996, 2004, apud WARTHA e REZENDE, 2015), o problema é que os componentes visuais não têm sido favorecidos no ensino de química, uma vez que os professores valorizam os aspectos conceituais e lógico-matemáticos, sendo, para muitos docentes, as figuras utilizadas na apresentação dos conceitos meras ilustrações.

Deste modo, é importante que os livros didáticos façam uso de variados recursos para que possibilitem promover maior interesse, significação, motivação por parte do estudante de modo que este consiga compreender os conteúdos de Química, sendo capaz de inter-relacioná-los e entender suas diversas formas de representações semióticas (baseadas em um sistema de signos) verbais e não verbais como fórmulas estruturais, equações, enunciados, diagramas, gráficos, ilustrações, entre outras.

Considerando a importância dos registros de representação Semiótica na aprendizagem das ciências em geral, particularmente na ciência Química, a questão de investigação pode ser assim enunciada: Como se configuram as representações

visuais sobre ligações químicas observadas nas ilustrações presentes em livros didáticos atuais de Química do Ensino Médio?

Ao longo das últimas décadas, com o avanço dos recursos gráficos, além das diversas formas de representação, tem sido possível um nível de detalhamento cada vez maior das representações visuais, buscando-se materialidade de imagens em papel, sendo que as figuras ocupam grande parte do conteúdo dos livros didáticos.

Frente ao exposto, a Semiótica de Charles Sanders Peirce é um referencial importante para a análise de ilustrações científicas (SOUZA e PORTO, 2012).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é identificar e analisar as imagens sobre a temática “ligações químicas” presentes em dois livros didáticos do Ensino Médio aprovados no PNLD/2018 de forma a se conhecer suas restrições e potencialidades, bem como os conceitos científicos envolvidos essenciais para o estudo de ligações químicas.

3.2 Objetivos específicos

- Classificar as imagens segundo os níveis de conhecimento químico e também quanto à tricotomia de Peirce, em específico a primeira e segunda tricotomia;
- Identificar as ilustrações que tratam dos tipos de ligações químicas, analisando a iconicidade das imagens, sua funcionalidade, a relação com o texto principal, as legendas verbais e o conteúdo científico nos quais as imagens se apoiam;
- Discutir as restrições e potencialidades das ilustrações sobre ligações químicas que os livros didáticos apresentam.

4 METODOLOGIA

Com o propósito de analisar as representações visuais do conceito de ligações químicas nos livros didáticos de Química para o Ensino Médio foram utilizados dois critérios: um para a escolha dos livros (autores) e o outro, quanto ao tema de Química.

Para tal fim, foram eleitas duas obras escolhidas pelo Programa Nacional do Livro Didático de 2018 (PNLD/Química/2018) para ser utilizado por um período de três anos pelos professores da rede estadual em todo o país. A opção por limitar esta pesquisa em dois livros ocorreu pelo fato de que os autores das obras escolhidas terem sido os únicos que tiveram seus livros selecionados em todas as edições do PNLD, desde seu início no ano de 2008, quando os livros de química começaram a ser distribuídos nas escolas públicas e também nos PNLDs seguintes, dos anos de 2012, 2015 e, no último, de 2018. Os livros escolhidos para este trabalho são de Eduardo Fleury Mortimer e Andréa Horta Machado e de Wildson Luiz Pereira dos Santos e Gérson de Souza Mól (coordenadores), descritos na tabela 2.

O segundo critério baseia-se no motivo da escolha do conhecimento químico analisado. Como os livros de Química possuem uma ampla gama de conceitos distribuídos geralmente em três volumes destinados aos três anos do Ensino Médio, houve a necessidade de afunilar a pesquisa, visto que o volume de imagens analisadas no total seria extenso. Elegeu-se, portanto, cuidadosamente, um conceito relevante e primordial para a compreensão da Química, sendo este, ligações químicas, conhecimento que permeia os três anos do Ensino Médio, sendo conceito-chave necessário para vários outros conceitos abordados. Para esta pesquisa foram analisados todos os capítulos sobre ligações químicas, presentes em livros didáticos destinados ao 1º ano do Ensino Médio.

Como metodologia, além dos critérios descritos, escolheu-se uma trajetória que visa, segundo os objetivos, à caracterização das imagens presentes nos exemplares didáticos postos para a análise. Tal trajetória segue os seguintes passos:

- 1º. Seleção das obras,
- 2º. Delimitação de um conteúdo químico,

3º. Caracterização das imagens mais recorrentes, a partir das categorias de Peirce.

A partir das propostas de Perales e Jiménez sobre a categorização das imagens quanto à iconicidade, funcionalidade, relação da imagem com o texto e legendas verbais, aprofundar a análise, empregando o arcabouço teórico e metodológico dos autores nas imagens dos livros analisados.

Essa trajetória permitiu descrever e sistematizar as imagens presentes no material de estudo e refletir sobre a configuração dessas imagens.

Tabela 2 - Obras selecionadas para a pesquisa

OBRA	AUTOR	EDITORA	VOLUME	ANO/EDIÇÃO
Química Cidadã	SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.)	AJS	1	2016/3ª ed.
Química – Ensino Médio	MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.	Scipione	1	2016/3ª ed.

Fonte: do Autor.

A análise das imagens envolveu os seguintes procedimentos:

1. Identificação e contabilização das figuras pertencentes ao capítulo de ligações químicas.
 - 1.1 Separação das imagens de acordo com seu tipo, sendo agrupadas como fotografias, figuras ou desenhos, tabelas ou gráficos.

As imagens classificadas como “fotografias” são as obtidas em banco de imagens e que, dependendo de qual fenômeno se propõem a explicar, passam por tratamentos gráficos, incorporando aspectos do nível submicroscópico, como átomos, moléculas, íons e elétrons. Elas possuem a funcionalidade de aproximar o conhecimento químico do estudante, buscando tornar o conteúdo mais familiar a ele, trazendo elementos do dia a dia (FREITAS, 2002).

Já as imagens categorizadas como “figuras” ou desenhos são aquelas confeccionadas pela equipe gráfica da editora do livro, com o propósito de representar normalmente conteúdos mais abstratos, pois é possível inserir várias

qualidades à figura, garantindo uma representação melhor elaborada sobre o conteúdo em questão.

As tabelas, por seu turno, apresentam o conteúdo de forma sucinta e organizada, sendo disposta em linhas e colunas, expondo informações numéricas e/ou com o uso de palavras.

Por fim, os gráficos também apresentam o conteúdo de forma organizada, por meio de coordenadas, garantindo maior visibilidade dos dados, permitindo fazer comparações entre valores obtidos com mais facilidade (FREITAS, 2002).

2. Uso da teoria de Charles Sanders Peirce para a sistematização semiótica das imagens entendidas como signos, categorizando-as nos três níveis – primeiridade, secundidade e terceiridade, utilizando a primeira e segunda tricotomia.

O nível de primeiridade relaciona-se com as qualidades da imagem e conforme Santaella (1983) é a primeira forma de dar atributos às coisas. Tomando como exemplo as cores, as formas e os traços utilizados para representar os átomos numa ligação molecular no livro.

A secundidade baseia-se na relação que o signo possui com o seu objeto. Nas palavras de Santaella (1983) “dá à experiência seu caráter de confronto”. Neste caso pode-se dizer que são as relações que as qualidades da imagem possuem como os átomos e moléculas da ligação molecular representados no livro.

O último nível, a terceiridade, segundo Santaella (1983) relaciona-se com um alto grau de interpretação, aproxima um primeiro de um segundo, numa síntese intelectual, havendo elaboração de leis que regulam uma ação. Deste modo, ocorre a terceiridade quando há uma ampla compreensão do conceito que está sendo representado pela imagem.

Segundo Peirce (2010), a primeira e segunda tricotomias são subdivididas em:

- Qualissigno (Primeiridade): aspectos relacionados à qualidade do signo, tais como cores, formas, contornos, setas, traços, não podendo ser um signo até que se materialize.
- Sinsigno (Secundidade): é alguma coisa ou evento existente e real que é um signo, podendo ser somente um signo através de suas qualidades e

necessariamente envolve vários qualissignos, por exemplo, o ato de observar a balança de precisão oscilar ao se colocar uma substância química sólida.

- Legissigno (Terceiridade): é uma lei que é um signo, uma lei estabelecida pelos homens, sendo todo signo convencional, como a Lei de Lavoisier, que fala sobre a conservação da massa das substâncias em uma transformação química e a Lei de Proust, a qual diz que sempre as substâncias reagem umas com as outras seguindo uma proporção fixa.
- Ícone (Primeiridade): signos que possuem alguma semelhança com seu objeto, podendo ser apenas visual ou de propriedades, como figuras, esquemas, desenhos, fotografias.
- Índice (Secundidade): signos que se referem ao um objeto, possuindo uma ligação física direta com este, indicando sua existência, como os símbolos dos elementos químicos representando seu nome escrito.
- Símbolo (Terceiridade): signos que são associados aos seus objetos em virtude de uma lei ou convenção, possuindo um consenso coletivo para seu significado, citando como exemplo as letras gregas nas equações matemáticas, as palavras de uma língua.

Peirce considera que “a mais importante divisão dos signos faz-se em Ícones, Índices e Símbolos” (PEIRCE, 2010, p. 64). Para ele, qualquer que seja a imagem, como uma pintura, é potencialmente autossuficiente, não necessitando de legendas ou rótulos para descrevê-la, podendo ser denominada de hipoícone.

Os hipoícones podem ser subdivididos em: a) imagens, que são hipoícones com qualidades primárias; b) diagramas, hipoícones que representam relações diádicas, que indissolúvelmente fazem parte de um todo, por meio de relações similares em suas partes e em suas próprias partes e c) metáforas, que são hipoícones que mostram o cunho representativo de um *representâmen* pelo estabelecimento de um paralelo com outra coisa.

Conforme Peirce, “um índice é um *representâmen* cujo caráter representativo consiste em ser um segundo individual” (PEIRCE, 2010, p. 66). O índice pode ser subdividido em índice genuíno, quando a secundidade for uma relação existencial ou índice degenerado, quando a secundidade é uma

referência. Tudo que nos atrai a atenção é índice, como por exemplo, uma batida na porta, ou um relâmpago no céu.

Sobre o símbolo, Peirce expressa que “um símbolo é um *representâmen* cujo caráter representativo consiste exatamente em ser uma regra que determinaria seu Interpretante” (PEIRCE, 2010, p. 71). Os símbolos podem ser classificados em símbolo genuíno que tem significado geral; símbolo degenerado que pode ser singular que é quando o Objeto é um existente individual, e que significa apenas aqueles caracteres que aquele individual pode conceder e abstrato no qual o Objeto único é um caráter.

3. Análise das ilustrações presentes nos livros didáticos, segundo as categorias de análise propostas por Perales e Jiménez (2002), sendo elas: iconicidade, funcionalidade, relação com o texto, legendas verbais e conteúdo científico. Para este trabalho optou-se por não utilizar a categoria “sequência didática”, uma vez que as categorias utilizadas são suficientes para satisfazer os objetivos desta pesquisa. Foi proposta também uma sexta categoria, chamada dimensão do conhecimento químico, sendo esta elaborada por Johnstone (1993; 2000). As imagens são agrupadas de acordo com suas características dimensionais e seu tipo nos três níveis – macroscópico, submicroscópico e simbólico (Tabela 3).

As imagens que não se enquadraram em nenhum nível do conhecimento químico também foram quantificadas.

Tabela 3 - Categorias de análise utilizadas

Categorias de Análise	Descrição
Iconicidade	Grau de complexidade da imagem.
Funcionalidade	O que se pode fazer com as imagens.
Relação com o texto principal	Referências mútuas entre texto e imagem.
Legendas verbais	Textos incluídos nas ilustrações.
Conteúdo científico	As imagens se apoiam ou não em representações-chave para a correta interpretação dos fenômenos.
Dimensão do conhecimento químico	Compreende os três níveis que a matéria pode ser representada.

Fonte: do Autor.

A categoria iconicidade refere-se ao grau de complexidade da imagem, podendo ser mais realista ou mais abstrata. Quanto maior o grau de iconicidade

mais realista é a imagem, requerendo menor capacidade de abstração para interpretá-la e quanto mais abstrata (menos realista) for a imagem, menor o grau de iconicidade, sendo necessário um conhecimento do código simbólico utilizado para a correta interpretação.

A seguir, na tabela 4, descrevem-se as subcategorias no que tange à iconicidade.

Tabela 4 - Descrição da categoria iconicidade

Subcategoria	Descrição
Fotografia	Mostra a realidade por fotos.
Desenho figurativo	Valoriza a representação orgânica mostrando os objetos mediante a imitação da realidade.
Desenho figurativo + signos	Representa ações ou grandezas inobserváveis em um espaço de representação heterogêneo.
Desenho figurativo + signos normalizados	Representa figurativamente uma situação junto com alguns aspectos por meio de signos normalizados, sendo um variante do item anterior.
Desenho esquemático	Valoriza as representações das relações não atendo a detalhes.
Desenho esquemático + signos	Representa ações ou grandezas inobserváveis.
Desenho esquemático + signos normalizados	Reproduz um espaço de representação homogêneo e simbólico com regras sintáticas específicas.

Fonte: adaptado de PERALES e JIMÉNEZ (2002).

A funcionalidade considera os aspectos gráficos das imagens com o propósito de promoverem a apreensão correta dos conceitos envolvidos através da representação simbólica. A tabela 5 exhibe as subcategorias com suas respectivas descrições.

Tabela 5 - Categoria funcionalidade e suas subcategorias

Subcategoria	Descrição
Inoperante	Não apontam elemento utilizável algum, só cabe observá-las.
Operativa elementar	Contêm elementos de representação universal.
Sintática	Contêm elementos cujo uso exige conhecimentos de normas específicas.

Fonte: adaptado de PERALES e JIMÉNEZ (2002).

A imagem por si só não é suficiente para a compreensão do conceito, visto que apresenta aspectos parciais, contendo informações descontínuas. A

combinação íntima entre imagem e o texto principal, atribui significado a ela (PERALES e JIMÉNEZ, 2002). Encontra-se na tabela 6 as subdivisões da categoria relação com o texto principal e suas especificidades.

Tabela 6 - Subcategorias da categoria relação com o texto principal

Subcategoria	Descrição
Conotativa	O texto descreve os conteúdos sem mencionar sua correspondência com os elementos incluídos na imagem, supondo serem óbvias e que o leitor seja capaz de fazê-las.
Denotativa	O texto institui a correspondência entre os elementos contidos na imagem e os conteúdos representados.
Sinóptica	O texto descreve a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados, constituindo uma unidade indivisível.

Fonte: adaptado de PERALES e JIMÉNEZ (2002).

As legendas verbais consistem em textos inseridos nas ilustrações, auxiliando em sua interpretação. Embora seja semelhante à categoria de análise anterior – relação com o texto principal – não se deve confundi-las, uma vez que o texto esteja incluído na imagem ou não permite diferenciar uma que seja dependente daquela que independe do texto principal não ilustrado. Abaixo, na tabela 7, estão alocadas as informações acerca desta categoria de análise.

Tabela 7 - Categoria legenda verbal e suas subcategorias

Subcategoria	Descrição
Sem etiqueta	A imagem não contém nenhum texto.
Nominativa	Contém letras ou palavras que identificam alguns elementos presentes na imagem.
Relacionável	Textos que descrevem as relações entre os elementos da imagem.

Fonte: adaptado de PERALES e JIMÉNEZ (2002).

Em relação ao conteúdo científico, realizou-se uma investigação, especificamente quanto aos temas ligação iônica, ligação covalente e ligação metálica, em livros comumente utilizados pelos professores de Química do Ensino Médio ao longo das últimas décadas e que exerceram forte influência no aprendizado desses conceitos e refletiram na formação dos estudantes que hoje são os atuais professores de Química. Para isso, foram elencadas imagens presentes em livros dos autores Ricardo Feltre e Antônio Sardella, publicados entre as décadas de 1960 e 2000. Embora muitos desses livros sejam alvos de críticas em trabalhos acadêmicos, sobretudo quanto aos possíveis erros conceituais empregados e também tendo conhecimento que atualmente já não participam mais

do catálogo de escolhas do PNLD, o propósito desta verificação consistiu somente em realizar um inventário das imagens que mais apareceram nessas obras, com o propósito de comparar e verificar as representações visuais utilizadas, em seus diversos níveis de complexidade e se contêm representações-chave para possibilitar uma melhor interpretação do fenômeno que está representando. Conjuntamente a isso, elaborou-se uma lista contendo os aspectos que uma imagem deve ter para ser considerada ideal (ou próxima disso) para representar os fenômenos corretamente, com base nas produções acadêmicas consultadas publicadas mais recentemente (GARCÍA e GARRITZ, 2006; LEVY NANHUM et al., 2008; 2010, GONZÁLEZ-FELIPE et al., 2015 e PAZINATO et al., 2016) e pelos conceitos apreendidos no decurso de nossa formação acadêmica.

As imagens presentes nos livros de Mortimer e Machado e de Santos e Mól foram analisadas, no que tange ao conteúdo científico, com o objetivo de verificar se elas contêm ou não as representações-chave mais comumente utilizadas para o ensino de ligação iônica, covalente e metálica.

As representações-chave mais recorrentes de acordo com o levantamento realizado encontram-se listradas abaixo.

Ligação Iônica e as descrições das representações-chave utilizadas:

- Modelo atômico de Rutherford-Bohr de 1913: modelo proposto inicialmente pelo físico e químico Ernest Rutherford e aperfeiçoado pelo físico Niels Bohr que concebe o átomo possuindo núcleo individualizado com cargas positivas (prótons), com elétrons orbitando ao redor do núcleo em camadas energéticas, descrevendo uma trajetória elíptica. Posteriormente foram incluídas as partículas de carga neutra (nêutrons) no núcleo, descobertos pelo físico James Chadwick em 1932.
- Retículo cristalino: arranjo geométrico para os aglomerados iônicos.
- Fórmula de Lewis: conhecida também como fórmula eletrônica consiste em um modelo no qual os elétrons da última camada (camada de valência) são representados usualmente por “bolinhas” ao redor dos símbolos dos elementos, contendo setas representando a transferência de elétrons, originando os cátions, que são os átomos que “cedem” elétrons e em ânions, que “recebem” esses elétrons transferidos.

- Raio atômico e raio iônico: raio dos átomos antes e após a transferência de elétrons ocorrer, ao estabelecerem a ligação iônica.
- Solvatação: representação das moléculas de água envolvendo e dissociando os íons, diminuindo a atração existente entre os cátions (íons carregados positivamente) e ânions (íons carregados negativamente) da substância iônica.
- Forças de atração e repulsão eletrostáticas: representação das forças existentes entre elétrons e núcleos dos átomos envolvidos na ligação iônica.

Ligação Covalente e as descrições das representações-chave utilizadas:

- Fórmula de Lewis: conhecida também como fórmula eletrônica consiste em um modelo no qual os elétrons da última camada (camada de valência) dos átomos são representados usualmente por “bolinhas” ao redor dos símbolos dos elementos, contendo pequenos círculos ao redor dos pares de elétrons, simbolizando o compartilhamento eletrônico estabelecido entre os átomos, dando origem às moléculas.
- Fórmula estrutural: demonstra a ligação estabelecida entre os átomos por traços únicos (-), duplos (=) ou triplos (\equiv), dependendo do número de ligações existentes entre os átomos que formam as moléculas.
- Forças de atração e repulsão eletrostáticas: representação das forças existentes entre elétrons e núcleos dos átomos envolvidos na ligação covalente.
- Geometria molecular: demonstra a orientação geométrica favorável para os átomos das moléculas de acordo com a Teoria de Repulsão entre os Pares de Elétrons da Camada de Valência (TRPECV), proposta em 1950 pelos químicos Ronald J. Gillespie e Sydney Nyholm.
- Polaridade: as moléculas podem ou não possuir polos, devido às diferenças de eletronegatividade (tendência do átomo em atrair elétrons em uma ligação) entre os átomos participantes da ligação covalente.

Ligação Metálica e as descrições das representações utilizadas:

- Modelo “mar de elétrons” ou “gás de elétrons”: modelo proposto para demonstrar que os elétrons da camada de valência se movimentam livremente ao redor dos átomos do retículo cristalino do metal sólido.
- Retículo cristalino: arranjo geométrico ou estruturas espaciais para os agrupamentos dos átomos metálicos.
- Propriedades macroscópicas: algumas propriedades específicas dos metais que justificam seu uso para determinados fins.

As dimensões do conhecimento químico propostas por Johnstone podem ser imaginadas compondo os vértices de um triângulo equilátero, sendo tratadas com equidade e estabelecendo dependência mútua entre os três níveis. A seguir (tabela 8) apresentam-se os níveis em conjunto com suas definições.

Tabela 8 - Dimensões do conhecimento químico de Johnstone

Nível	Definição
Macroscópico (MC)	Aquilo que é tangível, isto é, pode ser visto, tocado e cheirado.
Submicroscópico (SM)	Átomos, moléculas, íons e estruturas.
Simbólico (SB)	Símbolos, fórmulas, equações, molaridade, manipulação matemática e gráficos.
MC + SM	
MC + SB	Imagens que possuem mais de duas representações
SM + SB	
MC + SM + SB	Imagens que possuem as três representações

Fonte: adaptado de JOHNSTONE (2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Relação dos livros analisados e separação das imagens de acordo com seu tipo

Antecipando as análises, apresentam-se a seguir os dois livros utilizados para esta pesquisa aprovados no PNLD/Química/2018.

As imagens no que concerne ao capítulo de Ligações Químicas foram selecionadas, digitalizadas e quantificadas perfazendo um total de 98 imagens utilizadas para este trabalho, conforme descrito na tabela 9.

As ilustrações presentes em exercícios, questões para discussão e investigação, projetos e atividades experimentais não foram contabilizadas, pois o objetivo desta pesquisa focou-se em analisar somente as imagens juntamente com os textos explicativos do conceito.

Tabela 9 - Relação da quantidade de imagens presentes nos livros analisados

Código de identificação	Obra	Autor	Número total de imagens
LD 1	Química Cidadã	SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.)	71
LD 2	Química – Ensino Médio	MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.	27

Fonte: do Autor.

O LD 1 é o que apresenta mais imagens (71) comparando-se com 27 imagens presentes no LD 2. No LD 1 há, no geral, mais exemplos por meio de representações visuais sobre os tipos de ligações químicas e há abordagem da geometria molecular no tópico sobre ligações covalentes. O LD 2 acaba por ressaltar com mais ênfase a parte conceitual sob a forma textual, trazendo poucos exemplos ilustrados sobre os tipos de ligações e também há presença maior de questões de investigação e reflexão e sugestão de projetos, que também trazem ilustrações mas que não foram contabilizadas.

Segundo Mortimer (1988a), os livros publicados a partir da década de 1970 até o período de término de sua pesquisa (1988), sofreram mudanças radicais, passando a conter diversos truques gráficos, com conceitos em destaque, com títulos em diversos tamanhos, números exagerados de ilustrações. Este autor

constatou que somente 30% dos espaços dos livros continham texto, sendo o restante destinado a imagens e a exercícios. Essa escolha sugere que os autores estão mais preocupados com a forma de apresentação do conteúdo do que com o conteúdo em si, conclui o autor.

Levin (1981) para se definir o quão significativa é uma ilustração, propôs cinco funções de ilustrações textuais, que se resumem em: decoração – ilustrações que podem ajudar o leitor a apreciar o livro tornando-o mais atraente (mas sem ser relevante para o texto); representação – as ilustrações podem ajudar o leitor a visualizar algum evento particular, pessoa, lugar ou coisa (como comumente encontrado em passagens narrativas); transformação – ilustrações que podem ajudar o leitor a lembrar informações importantes em um texto; organização – ilustrações que podem ajudar o leitor a organizar a informação numa estrutura coerente e interpretação – as ilustrações podem ajudar o leitor a entender o texto.

Na classificação das imagens quanto ao tipo, foram consideradas todas as imagens pertencentes ao capítulo de Ligações Químicas. A tabela a seguir (tabela 10) elenca as quantidades separadas de acordo com seu tipo, podendo ser figura/desenho, fotografia, tabela ou gráfico.

Tabela 10 - Classificação das imagens dos livros analisados

Tipos de imagens	LD 1	LD2	TOTAL
Figura/desenho	45	10	55
Fotografia	18	11	29
Tabela	8	4	12
Gráfico	-	2	2
TOTAL	71	27	98

Fonte: do Autor.

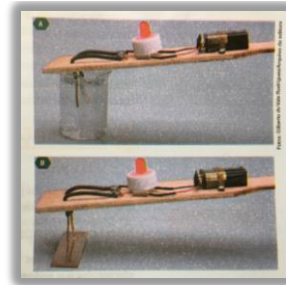
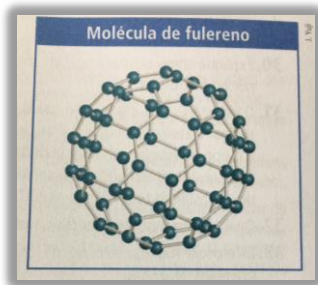
Diante dos resultados obtidos mostrados na tabela acima, nota-se um predomínio do uso de representações do tipo figura ou desenho presentes em 45 ilustrações do LD 1, correspondendo a 63% do total (Figura 5). Este é um tipo de representação normalmente eleita por boa parte dos autores de livros didáticos para o tema ligações químicas por tratar-se de um estudo altamente abstrato, pois possibilita ressaltar as entidades microscópicas na imagem e permite ao aluno visualizar melhor os símbolos presentes na linguagem química, por meio do uso dos diversos modelos atualmente aceitos pela comunidade científica. As figuras ou desenhos são mais abstratos, portanto menos icônicas do que as fotografias e para que o aluno possa compreender e interpretar a imagem na sua totalidade, faz-se

necessário que possua um bom conhecimento conceitual, visando assim ocorrer uma compreensão mais abrangente e menos superficial acerca do que a imagem está representando.

O LD 2 faz mais uso do tipo fotografia (Figura 6), somando 11 representações (41%), quase equiparando-se com o uso de imagens ou desenhos (10 imagens, 37%). Os autores deste livro trazem muitas fotografias exemplificando as diversas substâncias e materiais do cotidiano para explicarem as ligações químicas responsáveis pela sua formação, e as fotografias por serem mais icônicas, isto é, serem o retrato fiel da realidade que demonstra, não exigem do aluno um alto grau de abstração, pois cabe a ele somente a observação e reflexão e acabam limitando a visão do aluno para compreender o mundo que vai além do perceptível a olho nu.

Há nesta obra a presença de representações híbridas (parte fotografia, parte figura), como no exemplo a seguir (Figura 7), sendo que o LD 1 também traz uma representação deste tipo (Figura 8).

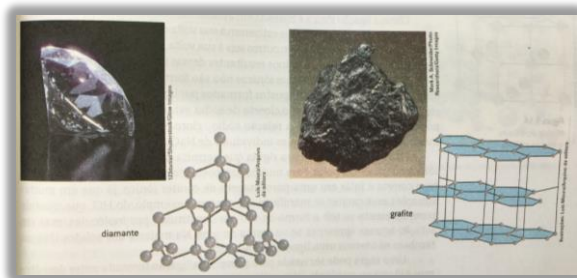
Figura 5 - Exemplo de imagem do tipo figura Figura 6 - Exemplo de imagem do tipo fotografia



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

Fonte MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

Figura 7 - Exemplo de imagem do tipo híbrida



Fonte MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

Figura 8 - Exemplo de imagem do tipo híbrida



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

Este tipo de representação é muito interessante por trazer inseridos no mesmo contexto as duas possibilidades de visualização, tornando mais significativa a imagem para o aluno, permitindo a ele a visualização do macro e tangível e concomitantemente ao nível submicroscópico das moléculas constituintes do material, conduzindo-o a possuir duas versões distintas para um mesmo objeto, além de permitir a transição de seu pensamento pelos diferentes níveis de conhecimento químico.

As representações por meio de tabelas e gráficos são menos utilizadas em ambos os LDs talvez por serem considerados pelos autores recursos visuais menos efetivos para a representação deste tema.

Após essa breve apresentação propõe-se descrever e categorizar as imagens encontradas em LD 1 e LD 2, a partir do arcabouço teórico de Peirce. Essa análise contribuirá com o objetivo de entender como se caracterizam as imagens nos livros de Química.

5.2 Análise semiótica dos capítulos referentes ao estudo de Ligações Químicas dos livros selecionados

5.2.1 Classificação das imagens quanto às categorias de Peirce

A base da teoria dos signos de Peirce se sustenta pela tríade composta pelo *representâmen*, objeto e interpretante, sendo que a interpretação do signo ocorre pela inter-relação estabelecida entre os elementos dessa tríade, podendo ser imaginado como os vértices de um triângulo equilátero, conforme apresentado anteriormente na página 29 (Figura 1). Esta relação tem a propriedade de nortear os processos de significação na mente humana. Para Peirce, o signo ou *representâmen* é tudo aquilo que retrata alguma coisa para alguém, sendo esta coisa o seu objeto, criando na mente dessa pessoa um signo semelhante ou até mais desenvolvido que o signo de origem e a esse signo criado mentalmente recebe o nome de interpretante do signo inicial (PEIRCE, 2010). O objeto pode ser concreto ou abstrato, como, por exemplo, em química a palavra “erlenmeyer” é um signo que possui um objeto concreto, pois quando o estudante lê essa palavra (signo) em um livro, ele imagina em sua mente o que é o erlenmeyer: um acessório de vidro, achatado na base em formato triangular, com abertura na superfície. O objeto

concreto então seria este acessório. Já para retratar um objeto abstrato, a palavra “carinho” ao ser lida, remete à mente do leitor sentimentos ligados a afeto, amor, mãe e pai, por exemplo, existindo então de modo abstrato. Utilizando os exemplos acima, as palavras “erlenmeyer” e “carinho” criam na mente do leitor ou intérprete as ideias associadas a elas, as imagens-lembrança, ou seja, o interpretante do signo. Assim, essa interdependência existente entre *representâmen*, objeto e interpretante são úteis para se compreender a gênese do signo bem como seu caráter mediador nos processos de produção humana material e simbólica e também na estruturação do pensamento humano (GOIS e GIORDAN, 2007).

A figura 9 ilustra a moldagem de um pedaço de metal. Uma pessoa bate com uma espécie de martelo sobre o metal quente, fazendo a moldagem dele. Nessa imagem, o *representâmen* é o movimento que a pessoa faz, conferindo a modelagem da peça, o objeto é todo o conjunto mostrado na foto (pessoa + martelo + metal) e o interpretante é a imagem criada na mente pela imaginação de quem faz a leitura.

Figura 9 – Imagem de moldagem de uma peça de metal



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

Segundo os estudos de Peirce, o signo, ao ser interpretado, pode se enquadrar em três categorias – primeiridade, secundidade e terceiridade – que, por sua vez, formam as tricotomias, dado que a primeira delas relaciona o signo em si mesmo (*representâmen*); a segunda estabelece a relação entre o signo e seu objeto e a terceira consolida a correlação do signo com seu interpretante.

As imagens retiradas dos dois livros utilizados para esta pesquisa foram classificadas quanto a primeira e segunda tricotomia. A terceira tricotomia, apesar de

sua significação, não foi considerada para este trabalho, pois envolve o interpretante, que se refere à visão mental que algum indivíduo constrói acerca de determinado objeto, com base nos construtos teóricos existentes em sua mente. Sendo assim, esta pesquisa dependeria de indivíduos (alunos), e uma vez que se optou por não efetuar estudos de campo, como acompanhamento de aulas de química ou aplicação de eventuais questionários para classes, a aplicabilidade da terceira tricotomia ficou comprometida.

Partindo-se, portanto, da teoria peirceana como escopo deste trabalho, a seguir foram elencadas algumas representações visuais dos livros utilizados e analisadas à luz da teoria de Peirce, no que concerne à primeira tricotomia: qualissigno, sinsigno e legisigno e à segunda tricotomia: ícone, índice e símbolo.

As imagens foram separadas, primeiramente, quanto ao tema de ligações químicas no qual se insere (ligação iônica, covalente ou metálica) e posteriormente quanto às suas características referentes à primeira tricotomia e associadas aos aspectos que apresentam quanto à segunda tricotomia. Os resultados das classificações de todas as 98 imagens analisadas, sendo 71 do LD 1 e 27 do LD 2 foram organizadas em uma tabela (tabela 11).

Tabela 11 – Resultados das análises das imagens pela 1ª e 2ª tricotomia de Peirce

LIVRO	TEMA	QUANTIDADE DE IMAGENS	SIGNO EM SI MESMO			SIGNO COM SEU OBJETO		
			Qualis signo	Sinsigno	Legis signo	Ícone	Índice	Símbolo
LD 1	LI	15	4	1	10	4	1	10
	LC	39	11	8	20	17	3	19
	LM	7	3	2	2	3	2	2
	OUTROS	10	10	-	-	5	5	-
LD 2	LI	3	1	-	2	-	-	3
	LC	15	7	5	3	10	2	3
	LM	5	3	-	2	3	1	1
	OUTROS	4	3	1	-	3	1	-

LI: Ligação Iônica; LC: Ligação Covalente; LM: Ligação Metálica.

Fonte: do Autor.

A seguir encontram-se algumas ilustrações representativas como exemplos dos temas sobre ligações iônicas, covalentes e metálicas eleitas para detalhamento da análise tricotômica peirceana.

5.2.2 Imagem analisada sobre Ligação Iônica

A primeira tricotomia diz respeito ao signo por si só. Conforme já visto, ela subdivide-se em qualissigno (nível de primeiridade), sinsigno (nível de secundidade) e legissigno (nível de terceiridade). A segunda tricotomia, que é a face do signo com seu objeto, compreende o ícone (nível de primeiridade), índice (nível de secundidade) e símbolo (nível de terceiridade).

Relacionando as imagens sobre ligações iônicas com as tricotomias, a imagem a seguir (Figura 10), mostra-se como um exemplo em potencial, pois é possível classificá-la segundo as categorias mais aparentes, podendo ser um legissigno simbólico, como também pode se encaixar nas três categorias das duas tricotomias.

Figura 10 – Exemplo de imagem representativa sobre ligações iônicas



Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

Ao observá-la inicialmente, em seu aspecto primário, na relação entre o signo por si mesmo, o observador percebe suas cores distintas para cada objeto e seus contornos e que eles se repetem tanto na imagem A, quanto na B, ou seja, suas qualidades, o qualissigno, além disso, o sinsigno, correspondente à secundidade,

pode ser demonstrado com o ato da lâmpada se acender em contato com os objetos, pressupondo-se que antes do contato, a lâmpada encontrava-se apagada.

O legissigno se apresenta também nesta imagem, pois pode se buscar o motivo da lâmpada se acender em contato com NaCl em água em A e com uma placa de cobre metálico em B. Isso pode ser lido na legenda abaixo da imagem, entretanto, para haver a correta interpretação do legissigno, que se insere na terceiridade, o observador deve possuir conhecimentos prévios sobre as propriedades e estrutura geométrica dos sólidos iônicos (retículo cristalino), que ao serem solubilizados em água, ocorre o fenômeno da solvatação que consiste na separação da maioria dos íons do retículo cristalino para o meio aquoso, tornando-os móveis e com maior energia cinética, sendo capazes de conduzir corrente elétrica, conferindo aos compostos iônicos o caráter de bons condutores de energia quando dissolvidos em água e maus condutores quando no estado sólido, visto que neste estado de agregação os íons estão fixos e muito unidos pelas forças de atração entre elétrons e núcleos dos cátions e ânions em todas as direções. E no caso do metal de cobre, a lâmpada se acende devido à deslocalização dos elétrons que se encontram móveis por toda a placa.

Com relação ao signo em relação ao seu objeto, por se tratar de uma fotografia, um retrato do real, possui um grau elevado de semelhança entre o significado e o significante, sendo icônica, podendo ser classificada como hipóicone do tipo imagem.

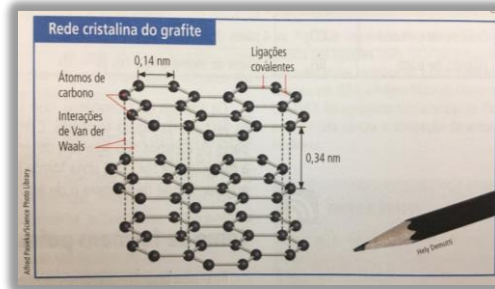
Já no nível de secundidade, a lâmpada do sistema montado pode ser o índice, pois dá indício que ela acenderá, ao entrar em contato com seus objetos (solução aquosa de NaCl e a barra de cobre) sendo afetada e firmando uma relação direta com ambos, podendo ser classificada como índice genuíno.

Adentrando-se no aspecto da terceiridade, é simbólica, possuindo símbolo genuíno, por convencionar, necessariamente que todas as lâmpadas que possuem as características mostradas na imagem irão acender sempre, quando colocadas em contato com essas duas substâncias em questão.

5.2.3 Imagem analisada sobre Ligação Covalente

Conforme realizada a análise mais aprofundada, pode-se observar que a figura 11 configura-se como qualissigno simbólico, visto que apresenta aspectos relativos à primeiridade, como formas e cores, ou seja, como qualissigno.

Figura 11 - Exemplo de imagem representativa sobre ligações covalentes



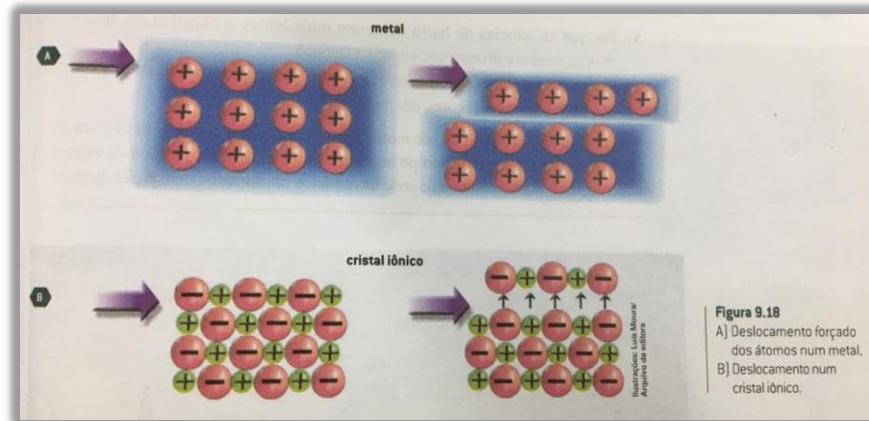
Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

O nível simbólico (terceiridade), sendo um símbolo singular, refere-se sobre a leitura que o leitor faz da imagem, de modo que para interpretar integralmente a representação visual, ele deve possuir conhecimentos anteriores no que tange às ligações covalentes, interações intermoleculares, tipos de átomos, arranjo geométrico molecular e propriedades das substâncias para compreender o motivo, por exemplo, de o grafite ser mais quebradiço e de ser usado para certos fins e do diamante ser bem mais resistente e ser usado para outras aplicações, mesmo ambos serem constituídos pelo mesmo tipo de átomo, o Carbono.

5.2.4 Imagem analisada sobre Ligação Metálica

No que se refere às ligações metálicas, a figura 12 foi utilizada para descrição.

Figura 12 - Exemplo de imagem representativa sobre ligações metálicas



Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

Ela se descreve como legissigno indicial, pois para o leitor visualizar além das cores e formas, ele deve ter conhecimento sobre o uso dos sinais positivos (+) e negativos (-) e sua significação geral e específica do conhecimento químico no âmbito das ligações entre os átomos e as forças de atração e repulsão envolvidas numa ligação química, ou seja, demonstra um legissigno pertencente, portanto, ao nível de secundidade.

Em relação à segunda tricotomia – signo em relação ao seu objeto – classifica-se como índice do tipo genuíno, devido à representação mostrar ao leitor uma ligação física direta com o objeto, que no caso são os materiais metálicos e iônicos, dando o indício de movimentação dos cátions e ânions e da nuvem eletrônica, representados por sinais positivos e negativos pelo uso das setas indicativas.

De acordo com as análises realizadas, é possível observar que o LD 1 contém mais ilustrações no tocante à primeira tricotomia (signo por si mesmo), inseridas no nível de secundidade, ou seja, legissignos, por retratar mais imagens contendo leis ou convenções químicas, que demandam ao aluno um conhecimento preexistente. O LD 2 mostra mais imagens do tipo qualissignos, provavelmente pelo fato de trazer uma porção significativa de imagens do tipo figura e fotografia, cabendo ao leitor somente identificar os elementos primários constituintes da imagem.

O LD 1, quanto à relação do signo com seu objeto, segunda tricotomia, traz um maior número de imagens simbólicas por fazer uso de imagens que requerem conhecimentos químicos específicos sobre ligações químicas e domínio da simbologia química para a ampla compreensão da ilustração. O LD 2 contém mais

imagens do tipo icônica, por fazer uso de fotografias que possuem alto grau de iconicidade por ser a representação mais próxima do objeto real.

Após a discussão, a partir dos pressupostos semióticos, a proposta é, na próxima seção, separar as obras para aprofundar a caracterização das imagens. Para tanto, aplicou-se a classificação proposta por Perales e Jiménez.

5.3 Resultados das categorias e subcategorias de análise

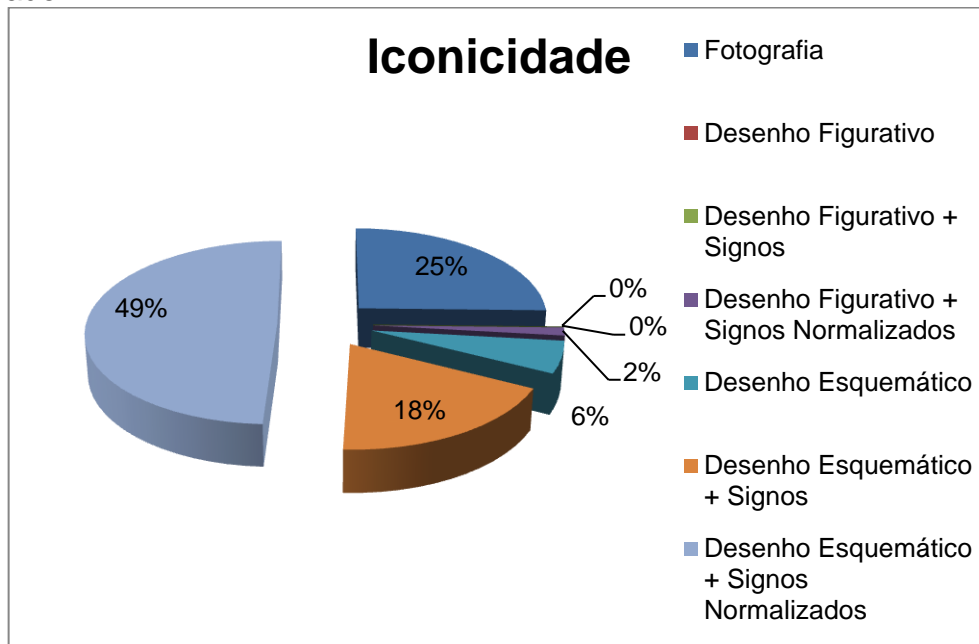
Conforme já descrito, para este trabalho optou-se por utilizar as categorias de análise de Perales e Jiménez (2002), sendo analisadas as imagens de acordo com sua iconicidade, funcionalidade, relação entre imagem e texto, legendas verbais, conteúdo científico no qual as imagens se apoiam e a inserção de uma nova categoria denominada nível de conhecimento químico no qual se insere a imagem.

5.3.1 Resultados das categorias de análise do LD 1

- Categoria Iconicidade

No LD 1 há predomínio do uso de desenho esquemático + signos normalizados, correspondendo a quase metade (49% do total) das representações visuais utilizadas (Figura 13). Pelo fato dos modelos envolvidos no estudo de ligações químicas serem abstratos, os autores possivelmente optaram por utilizar mais esse tipo de ilustração por possui a função de mostrar diversos tipos de regras e símbolos específicos da química, sendo, portanto, mais abstrata e menos icônica. Essa postura exige do estudante conhecimentos prévios sobre outros conceitos para a correta interpretação da representação visual, além da capacidade de transitar entre os níveis macroscópico e submicroscópico da matéria para assim ocorrer a plena compreensão da mensagem que a imagem está transmitindo.

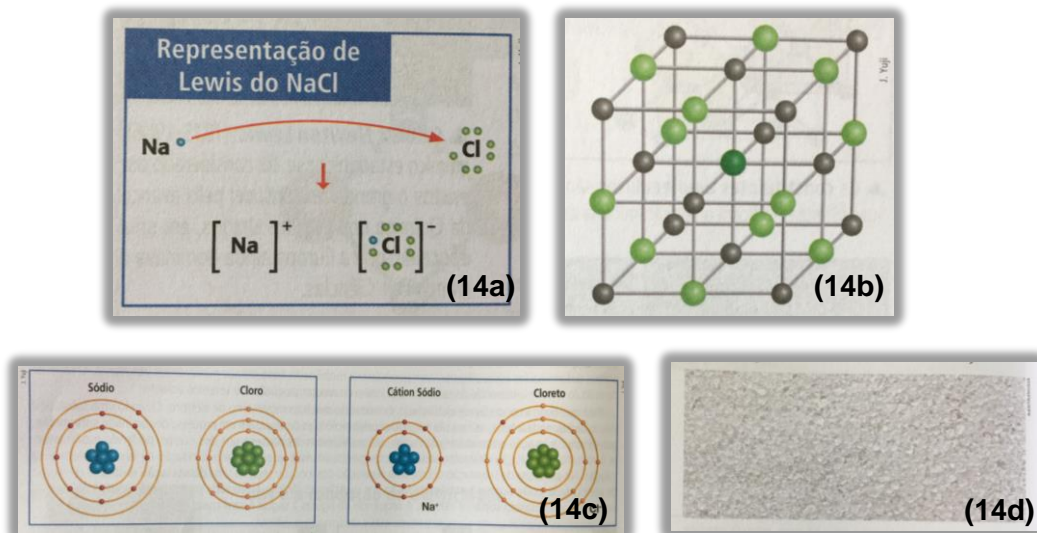
Figura 13 – Distribuição gráfica da quantidade de imagens relacionadas à categoria Iconicidade



Fonte: do Autor.

Conforme as ilustrações a seguir (Figura 14) se observam as diversas maneiras de representação um mesmo objeto.

Figura 14 - A substância Cloreto de Sódio representada em diferentes níveis de iconicidade



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

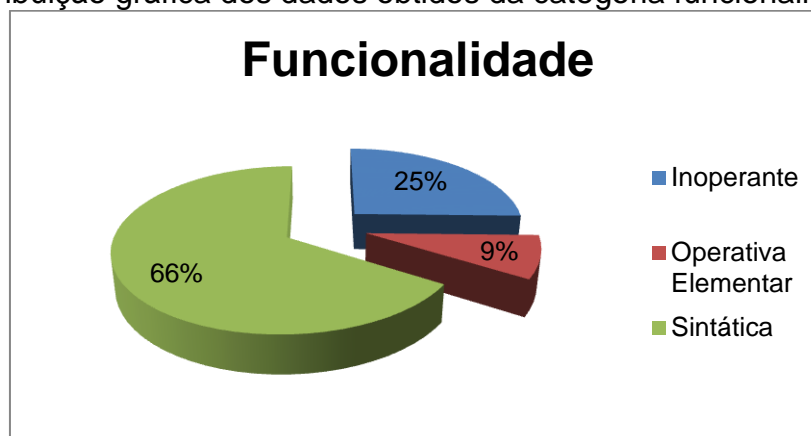
No exemplo, tem-se a substância iônica Cloreto de Sódio visualizada de maneiras distintas, sendo nas imagens 14a, 14b e 14c retratada como desenho esquemático + signos normalizados e na 14d como fotografia. Para a melhor compreensão do aluno sobre temas científicos, sobretudo quanto aos temas mais abstratos, é muito importante que os livros didáticos façam uso de diversas formas de representação visual a cerca de um mesmo fenômeno ou objeto para que assim expanda as possibilidades de apropriação conceitual, estando o aluno em um nível de entendimento mais abstrato. Tendo a competência, portanto, de ler a imagem mais profundamente, transitando entre os níveis macroscópico e submicroscópico ou estando em um nível mais elementar, no qual necessita recorrer ao palpável, ao macroscópico, por ainda não possuir a competência de efetuar a leitura da imagem que não permaneça apenas na superfície e pelos elementos aparentes.

Segundo Santos Filho (2007) explica, por exemplo, em um determinado contexto no qual grande parte das pessoas possui a mesma maneira de pensar, ou seja, o mesmo modelo, este passa a ter uma implicação científica e deixa de ser individual e pessoal e passa a ser considerado a melhor maneira de se interpretar determinado fenômeno, tornando-se assim um modelo científico. Este modelo passa então a ser adotado como a melhor forma de se entender determinado fenômeno ou observação, sendo admitido pela comunidade científica.

- Categoria Funcionalidade

Na categoria funcionalidade, a subcategoria que mais se destaca é a sintática sendo 66% das imagens presentes no LD 1, conforme visto na figura 15. Isso deve-se ao fato de a maioria das imagens conter elementos que exigem um conhecimento prévio acerca da simbologia e normas químicas específicas para a correta interpretação da representação visual.

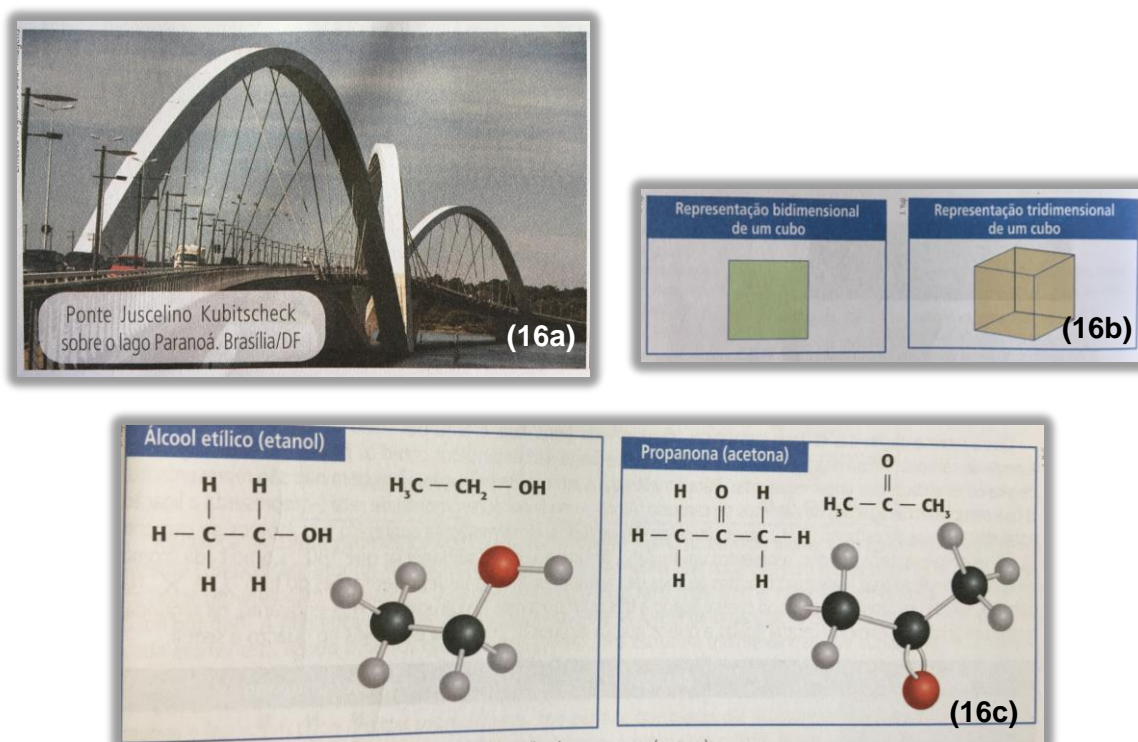
Figura 15 – Distribuição gráfica dos dados obtidos da categoria funcionalidade



Fonte: do Autor.

Na figura 16 encontram-se alguns exemplos sobre essa categoria.

Figura 16 - Exemplos de ilustrações do tipo Inoperante (16a); Operativa elementar (16b) e Sintática (16c)



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

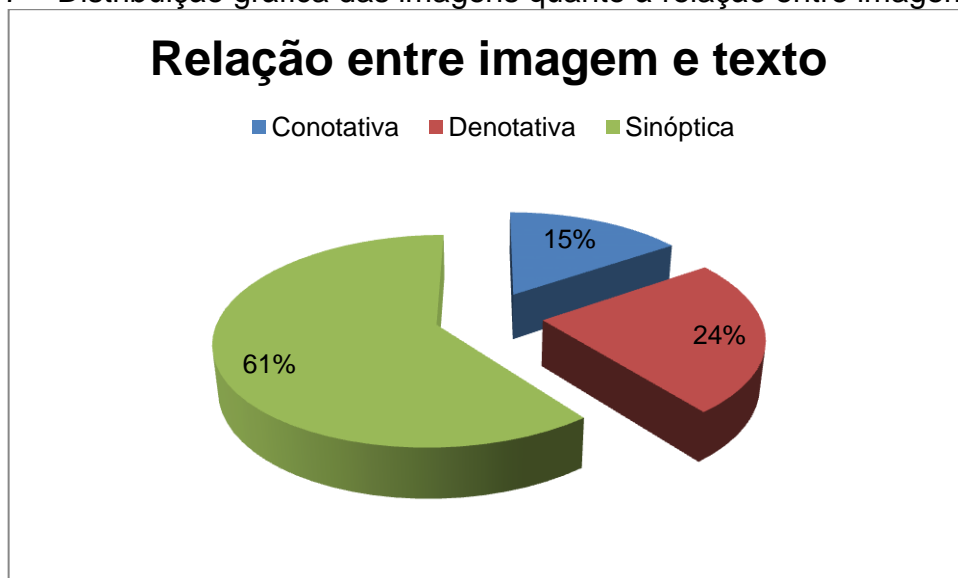
Na figura 16a tem-se uma amostra de imagem inoperante, pois se trata da fotografia de uma ponte, com a intenção de mostrar que as ligações entre os átomos

são tão intensas que são capazes de sustentar grandes estruturas. Cabe, desse modo, ao aluno a tarefa somente de observá-la, não sendo necessário nada além disso. Já a figura 16b se define como operativa elementar, por trazer desenhos de dois cubos vistos em ângulos diferentes, que são figuras geométricas de uso universal. A funcionalidade sintática é evidenciada na figura 16c, devido ao fato de mostrar representações distintas (fórmula estrutural plana e modelo de esferas) de duas moléculas de substâncias comuns no cotidiano do aluno sendo que, para haver uma compreensão mais ampla, requerem conhecimentos sobre os nomes dos símbolos dos átomos dos elementos químicos constituintes das moléculas e sobre as valências dos átomos que definem quantas ligações cada um estabelece na molécula.

- Categoria Relação entre imagem e texto

Nesta categoria, o LD 1 evidencia o uso mais frequente da relação sinóptica entre imagem e texto, correspondendo a 61% das ilustrações (Figura 17).

Figura 17 – Distribuição gráfica das imagens quanto à relação entre imagem e texto




Fonte: do Autor.

A figura 18 a seguir mostra os tipos de relações existentes entre imagem e texto.

Figura 18 – Exemplos de relações entre imagem e texto – Conotativa (18a); Denotativa (18b) e Sinóptica (18c)


2 Ligação iônica



► Uma das características de **substâncias iônicas**, como o sal de cozinha, é formar cristais.

PARE E PENSE
Como os átomos se unem para formar as diferentes substâncias? Lembrando, que os átomos possuem eletrosfera e núcleo, que região do átomo deve ser responsável pela união entre eles?

Diversos modelos têm sido desenvolvidos para esclarecer como os átomos se unem para formar milhares de substâncias, como os 4000 mil minerais conhecidos que estão presentes no solo. A compreensão desses modelos é fundamental para que possamos entender como os constituintes das substâncias interagem e, assim, prever o comportamento químico de substâncias e materiais. Esse estudo iniciaremos neste capítulo, continuando no próximo, quando iremos avançar o estudo das propriedades das **(18a)**.



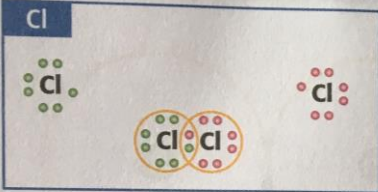
Íons e a condução de eletricidade

Verifique novamente a lista dos materiais do **grupo X**, aqueles sólidos que só conduzem eletricidade quando dissolvidos em água. Como explicar esse comportamento? Quem deu uma contribuição fundamental para responder a essa intrigante questão foi o físico e químico inglês Michael Faraday [1791-1867] que, em 1830, previu a existência de íons. No entanto, foi Svante August Arrhenius [1859-1927] quem estudou, em seu trabalho de doutorado, a migração de espécies carregadas eletricamente e soluções submetidas à corrente elétrica. Por esse trabalho, foi agraciado com o Prêmio Nobel de Química em 1903.

Os estudos de Arrhenius demonstraram que a condução de eletricidade em soluções contendo substâncias do grupo **X**, se deve ao fato da presença de íons. Agora, antes de estudarmos um modelo que explica o que são íons e como eles se formam, pare, pense e responda as questões da atividade a seguir, para só depois prosseguir sua leitura. **(18b)**

▲ Com seus estudos sobre eletrólitos, **Svante August Arrhenius** contribuiu para a compreensão das estruturas químicas.

Tipos de ligação covalente



Para entendermos os diversos tipos de ligação covalente, vamos usar a representação eletrônica de Lewis. Nela, indicamos os elétrons da camada de valência de cada átomo; os elétrons compartilhados são representados entre os símbolos dos átomos ligantes. Veja como fica a molécula de cloro (Cl_2).

Observe que, isoladamente, cada átomo de cloro possui sete elétrons na camada de valência. Entretanto, quando se ligam, eles passam a compartilhar dois elétrons – um de cada átomo –, adquirindo estrutura eletrônica semelhante à dos átomos de argônio. Essa é a denominada **ligação covalente simples**, porque há compartilhamento de um par de elétrons originários dos dois átomos ligantes. **(18c)**

▲ Representação dos **átomos de cloro** antes e depois de ligados para formar uma molécula de cloro (Cl_2).

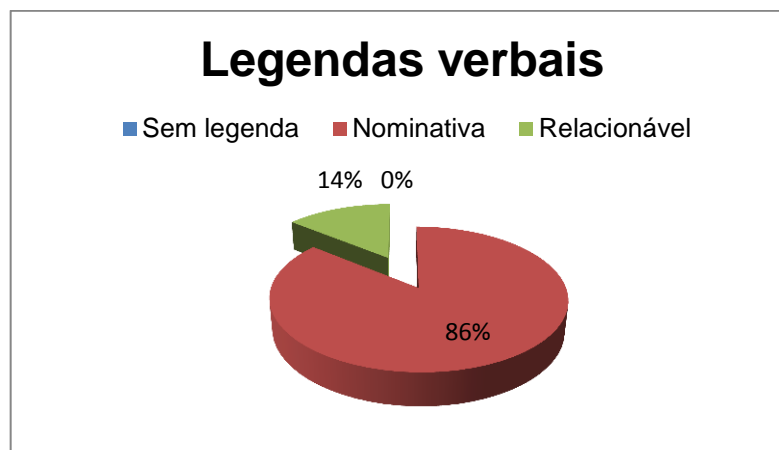
Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

Como pode-se observar, a figura 18a estabelece a relação do tipo conotativa com o texto, uma vez que o texto não descreve elementos contidos na imagem, que se trata de uma fotografia de uma porção de sal de cozinha, pois os autores acreditam ser evidente essa relação formada. Já a figura 18b que é uma fotografia de um cientista, é caracterizada como denotativa porque o texto cita o nome do cientista e seus feitos na química, firmando uma relação. Por último, na figura 18c, verifica-se a relação sinóptica existente, pois a imagem dos átomos de cloro antes e depois da ligação química tem a função de completar e ao mesmo tempo de depender da leitura textual e vice-versa. Esse tipo de relação é fundamental para tornar tanto a leitura textual quanto a leitura da imagem mais eficazes, devido ao estabelecimento de um vínculo íntimo entre ambos, formando uma unidade indivisível.

- Categoria Legendas verbais

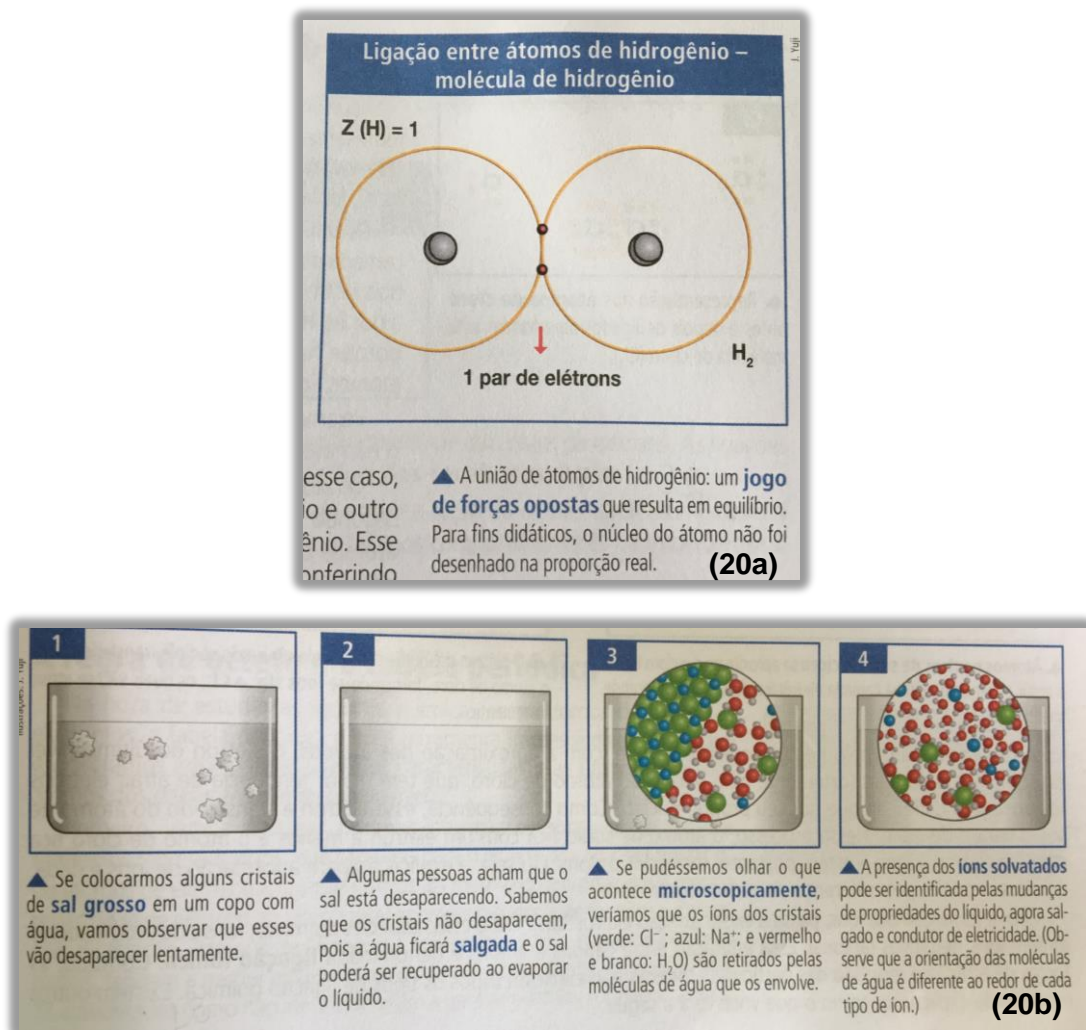
Quanto à categoria legendas verbais, as do tipo nominativa são as que prevalecem no LD 1, existente em 86% das imagens (Figura 19).

Figura 19 – Distribuição gráfica dos dados obtidos sobre as legendas verbais



Fonte: do Autor.

Figura 20 – Exemplos de legendas verbais do tipo Nominativa (20a) e Relacionável (20b)



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

As legendas nominativas (Figura 20a) são primordiais, uma vez que tem o propósito de facilitar a interpretação e leitura da imagem, pois confere uma maior clareza para o aluno no entendimento da ilustração, por conter informações na forma de letras, números ou nomes que permitem identificar os diversos elementos visuais presentes. No caso em questão, manifesta-se a ligação covalente que ocorre entre os átomos de hidrogênio, resultando na molécula de gás hidrogênio, identificando o par eletrônico envolvido, os átomos de hidrogênio e seus núcleos.

As legendas do tipo relacionável (Figura 20b) possibilitam ao aluno identificar as relações entre os componentes da imagem por conter pequenos textos que justamente descrevem essa relação. No exemplo há imagens dispostas sequencialmente e os textos explicativos abaixo de cada uma, descrevem como

ocorre microscopicamente a dissolução do sal grosso em água, dando origem aos íons sódio e cloreto pela solvatação das moléculas de água.

- Categoria Conteúdo científico

Para a análise do conteúdo científico foram elencadas imagens sobre ligação iônica, ligação covalente e ligação metálica dos dois livros utilizados. Optou-se por escolher imagens contendo as representações-chave de cada tipo de ligação para a exemplificação. A análise acerca do conteúdo científico se pautou no uso dos itens já descritos (p. 43).

Conteúdo científico com as representações-chave do tópico Ligações Iônicas

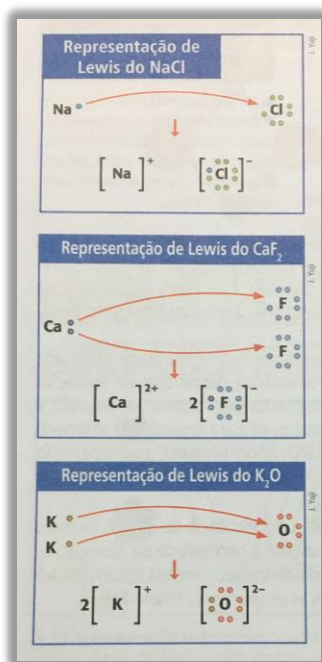
Para este tópico em ambos os LDs, verificou-se a presença dos seguintes conteúdos: modelo atômico de Rutherford-Bohr; retículo cristalino; fórmula de Lewis; raio atômico e raio iônico; solvatação e forças de atração e repulsão eletrostáticas.

O LD 1 apresentou quase todos os conteúdos entendidos como representações-chave para fomentar ao aluno a correta interpretação do fenômeno representado. Somente imagens sobre raio atômico e raio iônico não foram inseridos no capítulo.

Com relação às representações do modelo atômico de Rutherford-Bohr, usam-se como exemplo os átomos neutros de Sódio (Na) e Cloro (Cl) antes de efetuarem a ligação iônica e depois de realizarem a ligação, originando cátions Sódio (Na^+) e ânions Cloro (Cl). Mais adiante mostra-se também a representação do retículo cristalino do Cloreto de Sódio (NaCl) no momento do capítulo no qual diferencia os constituintes moleculares e amoleculares da matéria. O modelo do arranjo geométrico na forma de retículo cristalino tem a intenção de revelar ao aluno como é a organização microscópica dos íons de uma substância comum no cotidiano deles, no caso o Cloreto de Sódio, principal componente do sal de cozinha.

Os autores utilizam a fórmula de Lewis para explicar a formação de alguns compostos iônicos, dentre eles o NaCl (Figura 21).

Figura 21 – Fórmulas de Lewis



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016)

Ao adentrarem nas propriedades dos compostos iônicos como a condução de corrente elétrica, empregam o modelo de solvatação iônica realizada pelas moléculas de água, separando os cátions Na^+ dos ânions Cl^- resultando na geração de eletricidade, graças à mobilidade dos íons em solução aquosa. Em relação à abordagem sobre forças de atração e repulsão eletrostáticas, os autores do LD 1 inserem, a fim de complementação do texto explicativo, imagens simples em que há cargas positivas e negativas com o propósito de tornar mais claro para o estudante as forças existentes entre núcleo-elétron, núcleo-núcleo e elétron-elétron.

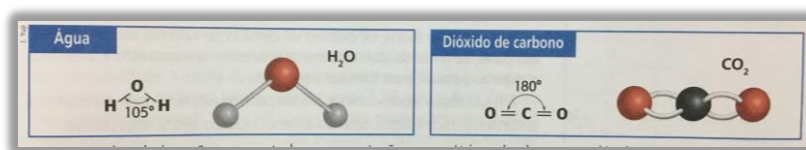
Para a abordagem do conceito de Ligações Iônicas utilizam a Teoria do Octeto ao introduzir os modelos mencionados acima, porém deixando claro que ela possui limitações e que não se aplica a vários elementos químicos, dentre eles os metais de transição, por exemplo.

Conteúdo científico com as representações-chave do tópico Ligações Covalentes

Ao abordar as Ligações Covalentes, os seguintes conteúdos foram verificados: fórmula de Lewis, fórmula estrutural, geometria molecular, polaridade e forças de atração e repulsão eletrostáticas.

O LD 1 exemplifica este tipo de ligação química por meio de fórmulas de Lewis e fórmulas estruturais que permitem ao aluno visualizar de maneiras diferentes as ligações ocorrentes entre os átomos através do compartilhamento dos pares eletrônicos da camada de valência. Introduce também algumas ilustrações como exemplos sobre os ângulos favoráveis entre os átomos em uma molécula, de acordo com a Teoria da Repulsão entre os Pares de Elétrons da Camada de Valência (TRPECV), indicando assim a geometria de algumas moléculas (Figura 22).

Figura 22 – Geometria das moléculas de H₂O e CO₂



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

Os autores trazem ainda o conceito de polaridade das moléculas, com base nas diferenças de eletronegatividade ou afinidade eletrônica dos átomos da ligação, por meio de explicação no texto e imagens complementares. Este LD não apresenta o conteúdo expresso por meio de ilustrações, somente na forma de texto, sobre as forças de atração e repulsão eletrostáticas entre os átomos que realizam ligações covalentes.

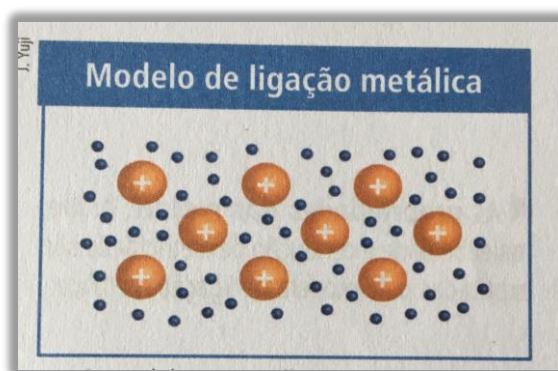
De acordo com Levy Nanhum et al. (2010), a interação entre os átomos e a formação das ligações, sejam elas iônicas, covalentes ou metálicas, acontece por consequência das atrações e repulsões entre núcleos e elétrons das partículas que buscam estabilizar-se, ou seja, permanecerem no estado de mínima energia que ocorre quando as cargas opostas estão mais perto o possível e as cargas iguais estão mais afastadas. Em suas pesquisas, Levy questiona que a maioria dos livros didáticos explicam que as ligações iônicas acontecem pela transferência de elétrons e as ligações covalentes pelo compartilhamento, sendo que as obras raramente discorrem sobre as forças eletrostáticas, o que ocorre somente em ligações iônicas, mas nunca em ligações covalentes ou metálicas.

Conteúdo científico com as representações-chave do tópico Ligações Metálicas

No tocante às ligações metálicas, verificou-se a presença dos seguintes conteúdos: modelo “mar de elétrons”, retículo cristalino e propriedades macroscópicas.

O LD 1 apresenta a imagem do modelo “mar de elétrons” (Figura 23) como ponto de partida para a explicação teórica, versa sobre as propriedades macroscópicas dos materiais metálicos, trazendo exemplos ilustrativos sobre os diversas formas que os metais podem adquirir para atender às demandas exigidas pela indústria que revertem em bens de consumo, impactando o cotidiano do estudante enquanto cidadão. Os autores escolhem por não exemplificar os retículos cristalinos dos sólidos metálicos.

Figura 23 – Modelo “mar de elétrons”



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016).

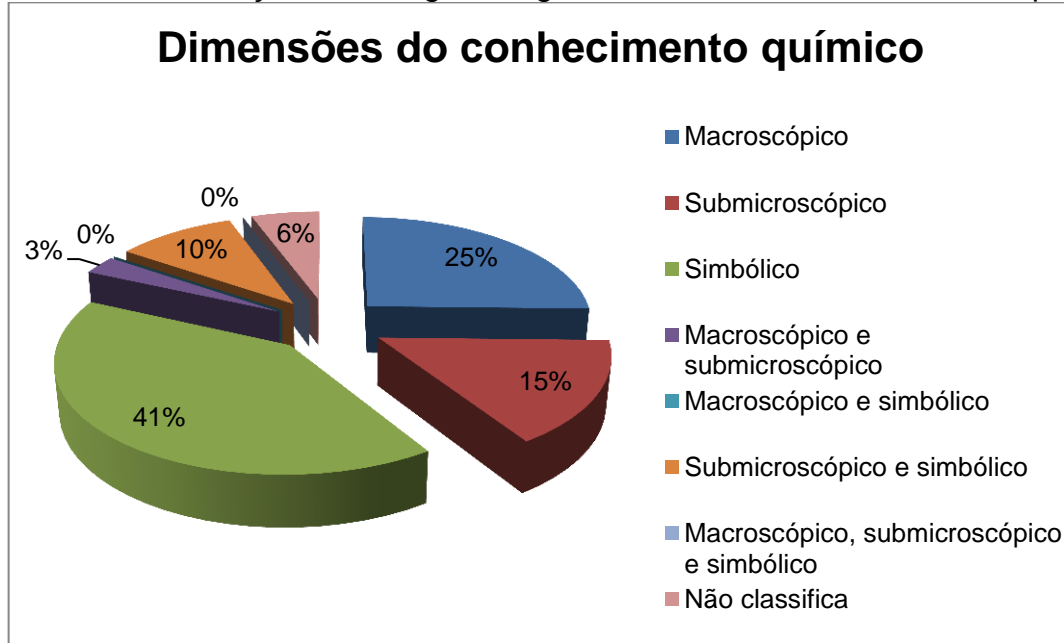
- Categoria Dimensões do conhecimento químico

Investigando esta categoria intitulada Dimensão do conhecimento químico, certifica-se que as imagens que ressaltam o nível simbólico são as mais presentes no LD 1 (41%), fazendo uso frequente de símbolos químicos na explicação sobre modelos de ligações e tipos de fórmulas para representação de moléculas, por exemplo. A figura 24 traz a quantificação em forma gráfica das imagens nos níveis de conhecimento químico.

De acordo com Gois e Giordan (2007), o aspecto simbólico do conhecimento químico é o que possui maior dificuldade de compreensão pelos alunos. Estes autores enfatizam que esta dimensão trata “das representações qualitativas,

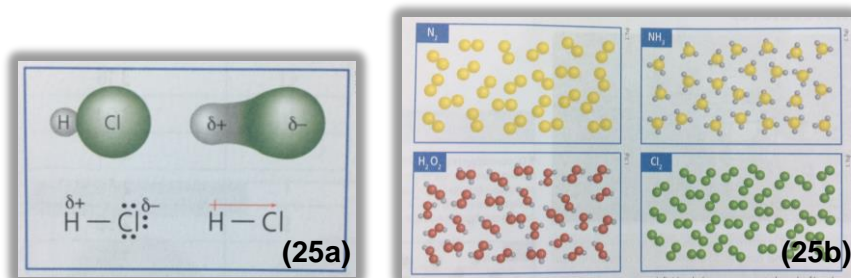
utilizando notações, terminologias e simbolismos especializados, e também trata das representações quantitativas, quando são utilizados gráficos e equações matemáticas” (p. 42).

Figura 24 – Quantificação das imagens segundo os níveis de conhecimento químico



Fonte: do Autor.

Figura 25 - Exemplos caracterizando as Dimensões do conhecimento químico – Simbólico (25a) e Submicroscópico (25b)



Fonte: SANTOS, W. L.; P. MÓL, G. S. (coords.) (2016)

Conforme visto anteriormente, o aspecto simbólico para as imagens é privilegiado no LD 1. A figura 25a engloba o nível simbólico e trata-se da representação pelas fórmulas molecular, de Lewis e também pelo modelo de bolas da substância HCl (Ácido Clorídrico) e demonstra os polos formados pela diferença de eletronegatividade dos átomos tanto por vetor quanto pelo modelo de bolas. Para que o estudante compreenda integralmente esta imagem, ele deve possuir

conhecimento dos símbolos dos elementos e dos diversos tipos de fórmulas utilizadas para demonstrar uma molécula e do símbolo utilizado para mostrar a formação de polos positivos ou negativos (letra grega δ).

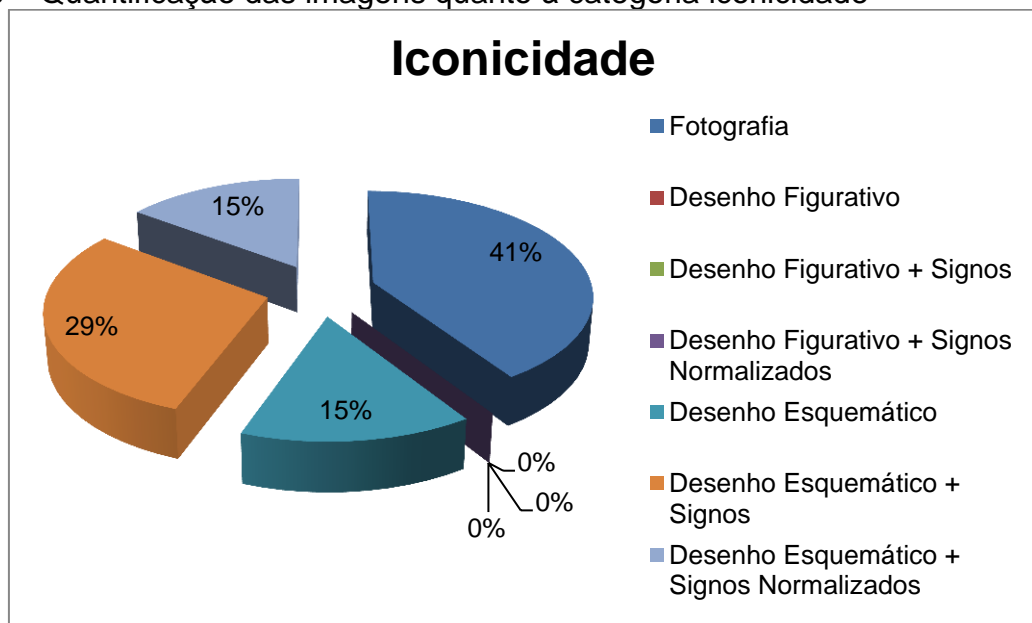
O exemplo 25b traz a representação visual inserida no nível submicroscópico, o qual representa o arranjo molecular de alguns compostos usando bolinhas coloridas dispostas geometricamente. Esse tipo de abordagem é comumente vista em livros didáticos, pois tem o propósito de mostrar como se imagina a molécula de determinada substância procurando se assemelhar com a realidade, claro que fora de escala e com cores-fantasia, mas procuram mostrar qual o possível formato dos átomos e como eles se arranjam tridimensionalmente em uma molécula e como as moléculas se arranjam em conjunto com outras.

5.3.2 Resultados das categorias de análise do LD 2

- Categoria Iconicidade

No LD 2 o destaque é para as fotografias, perfazendo 41% do total das ilustrações, conforme visualizado na figura 26. Os autores primam este tipo de representação mais icônica, que traz mais elementos presentes no dia a dia do aluno, sendo de fácil interpretação.

Figura 26 – Quantificação das imagens quanto à categoria iconicidade



Fonte: do Autor.

A figura 27 é um exemplo de fotografia na qual se retrata uma rede de distribuição de energia e na legenda explica-se que os metais por serem bons condutores de eletricidade, são usados na fabricação de fios.

Figura 27 – Exemplo de imagem do tipo fotografia da categoria iconicidade



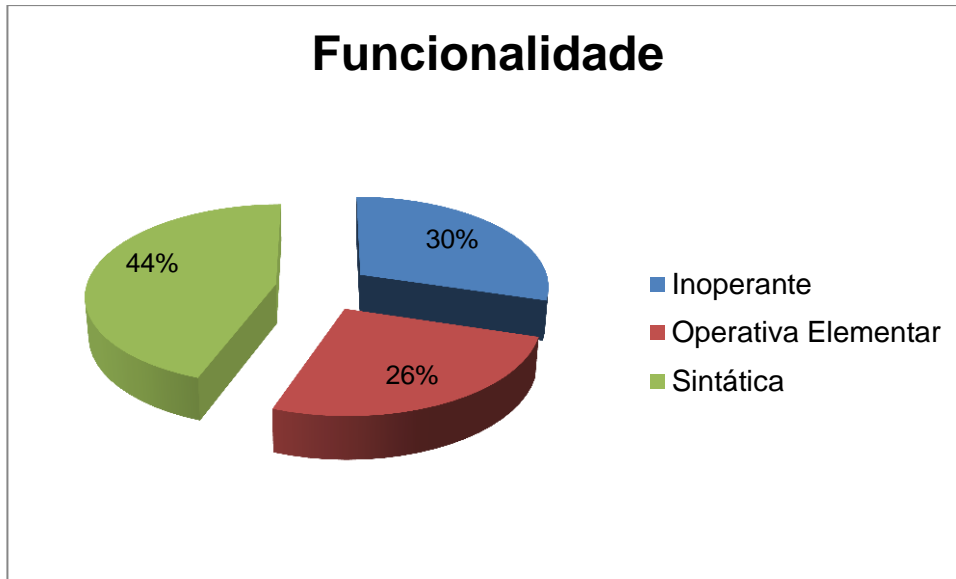
Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016)

Conforme Gouvêa e Oliveira (2010), toda representação visual subentende-se, para sua compreensão, certo grau de conhecimento de determinações culturais no que tange a época de sua elaboração e a localização geográfica que determinarão sua produção e leitura, como: fatores econômicos, políticos e sociais; visão do homem e de mundo; técnicas de produção, distribuição e consumo. As imagens passam a serem signos simbólicos quando as normas culturais norteiam a interpretação da significação de seus elementos.

- Categoria Funcionalidade

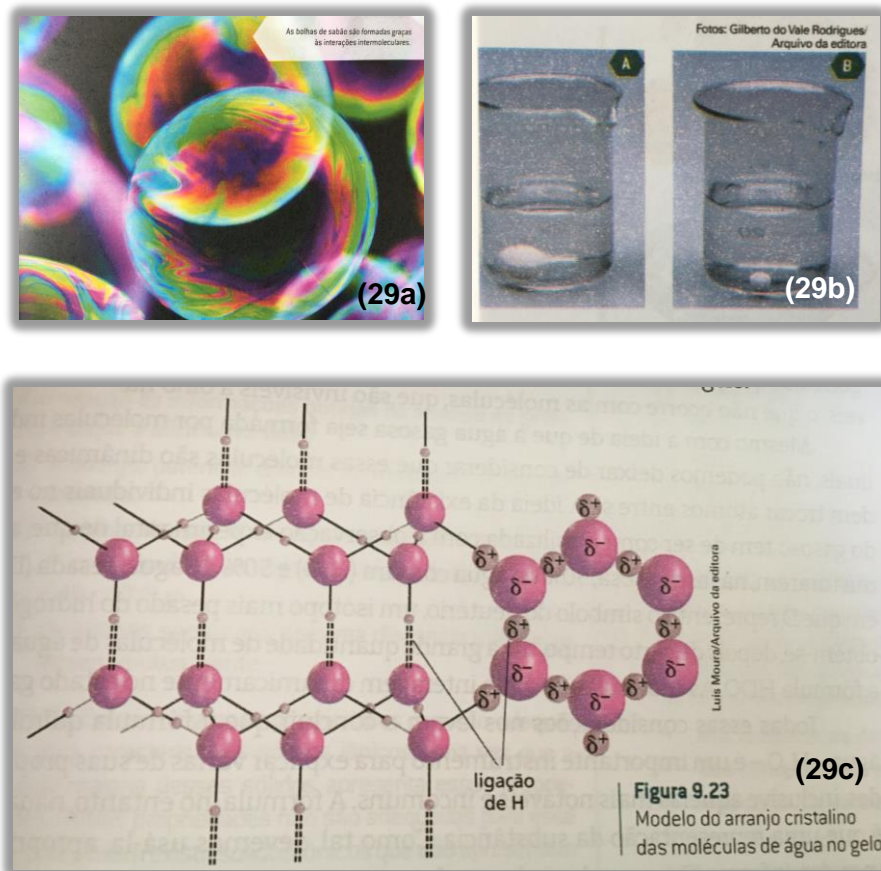
De acordo com a figura 28, nesta categoria, a subcategoria que mais se evidencia é a sintática, somando 44% das representações visuais do LD 2, por conter um número significativo de imagens que contém entidades que requerem do aluno conhecimentos específicos de normas químicas.

Figura 28 – Distribuição gráfica dos dados obtidos da categoria funcionalidade



Fonte: do Autor.

Figura 29 - Exemplos de ilustrações do tipo Inoperante (29a); Operativa elementar (29b) e Sintática (29c)



Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016)

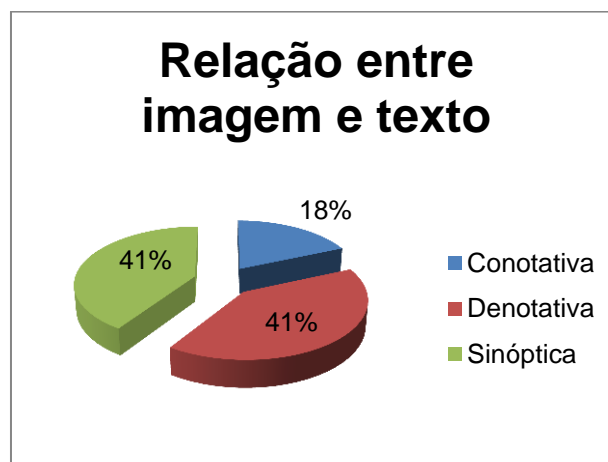
Na figura 29a tem-se um exemplo de imagem inoperante, por tratar-se de uma fotografia de uma bolha de sabão, cabendo ao estudante somente a observação. Um exemplo de figura do tipo operativa elementar revela-se em 29b, pois traz uma fotografia de dois béqueres, que são de uso universal em laboratórios químicos. A funcionalidade sintática é exibida na figura 29c por apresentar uma imagem do modelo do arranjo cristalino das moléculas de água no gelo, repleta de elementos que demandam ao aluno conhecimentos químicos a respeito de ligações intermoleculares, geometria e polaridade das moléculas para o entendimento integral.

Coutinho et al. (2010) advertem que imagens “com carga cognitiva alta” são consideradas de difícil interpretação pelos estudantes e podem ocasionar barreiras na organização e no processamento de informações, afetando a aprendizagem. Diante disso, os livros didáticos devem utilizar com parcimônia os elementos necessários à leitura da imagem, não a sobrecarregando com muitas informações que, ao invés de potencializar a aprendizagem, podem servir de obstáculos epistemológicos para o estudante.

- Categoria Relação entre imagem e texto

Neste quesito, a quantificação da categorização das imagens encontra-se na figura 30, e há um empate entre imagens do tipo denotativa e sinóptica, ambas predominantemente em 41% das representações.

Figura 30 – Quantificação das imagens quanto à relação entre imagem e texto



Fonte: do Autor.

Figura 31 - Exemplos da categoria Relação entre imagem e texto - Conotativa (31a); Denotativa (31b) e Sinóptica (31c)

ÁGUA = H₂O?


As vezes, temos a sensação de nos apropriarmos da essência da água quando a representamos por duas simples letras e um número.

A água, como solvente universal, fomentou a vida no planeta. É a única substância que, nas condições físico-químicas da Terra, apresenta-se nos três estados da matéria. O gelo tem a propriedade notável de ser um sólido menos denso que a água líquida. A maioria dos sólidos afunda nos seus líquidos. O gelo flutua na água, e isso é fundamental para a vida no planeta, pois nas regiões frias os rios, lagos e mares se congelam apenas na superfície, preservando a vida.

Evidentemente, a água é muito mais que um simples solvente universal. Quando matamos nossa sede ou nos banhamos nas águas límpidas de um riacho, "ela representa a soma dos olhos de toda a humanidade, porque no seu circular contínuo pelo ambiente já viveu a experiência de todas as lágrimas, desceu por todas as gargantas, visitou geleiras, montanhas, rios e oceanos e vem transitando pelos nossos corpos desde a aurora do planeta" (TRANCOSO, Alfeu. Reflexões no cipó. *Estado de Minas*, 18 nov. 1994).

Vale a pena discutir, do ponto de vista científico, o significado de atribuímos uma fórmula simples a uma substância tão importante como a água. Quando Lavoisier, em 1783, anunciou à Academia de Ciências de Paris que a água era composta de hidrogênio e oxigênio, estava propondo uma nova maneira de definir um elemento químico completamente diferente da visão aristotélica: um elemento poderia ser definido experimentalmente como qualquer substância que não pudesse ser decomposta por métodos químicos. Quando John Dalton propôs sua teoria atômica em 1803, sugeriu a interpretação de que cada elemento fosse constituído por uma única espécie de átomos. Em uma reação química,

Figura 9.21
O que significa dizer que a fórmula da água é H₂O?
Na foto, ilha de Marajó (PA), em 2012.



(31a)

QUE EVIDÊNCIAS SOBRE A NATUREZA DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS PODEMOS OBTER CONHECENDO A TEMPERATURA DE FUSÃO DOS MATERIAIS?

Analizando o comportamento das substâncias sob aquecimento, verificamos que algumas mudam de estado físico a temperaturas elevadas, como o cobre, o cloreto de sódio e o diamante. Já o açúcar (sacarose) e a naftalina fundem-se a temperaturas razoavelmente baixas.

Um modelo de ligação química é usado para explicar essas e outras propriedades das substâncias. No caso do cobre, do diamante e do cloreto de sódio, quando a substância muda de estado físico, rompem-se interações entre as partículas que constituem a substância. Como a temperatura para efetuar essas mudanças é elevada, podemos imaginar que essas interações sejam muito fortes. No caso do diamante, temos um tipo de ligação conhecida como **ligação covalente**, que é o mesmo tipo de ligação presente nas moléculas de hidrogênio, oxigênio, naftalina, sacarose, gasolina, álcool, água, etc.

Essas últimas substâncias, no entanto, mudam de estado físico ou transformam-se em líquidos a temperaturas relativamente baixas, quando comparadas com o diamante. Como explicar essa diferença?

Em todas essas substâncias (hidrogênio gasoso, oxigênio gasoso, naftalina, sacarose, gasolina, álcool, água), a ligação covalente é responsável pela formação da **molécula**. A agregação das moléculas para formar quantidades macroscópicas dessas substâncias se dá, no entanto, por **interações entre moléculas** (31b)

Figura 9.2
O cobre, o diamante e o cloreto de sódio fundem-se a temperaturas muito elevadas.

Vamos ver agora o que acontece quando dois átomos com eletronegatividade diferente se ligam, como na molécula de HCl. Teremos o mesmo tipo de ligação que ocorreu na molécula de H_2 , mas nesse caso a nuvem eletrônica não estará uniformemente distribuída; ela estará mais densa junto ao átomo mais eletronegativo (no caso, o átomo de cloro). A região da molécula próxima ao átomo mais eletronegativo adquire uma carga parcial negativa (δ^-), ao passo que a região próxima ao átomo menos eletronegativo adquire uma carga parcial positiva (δ^+). A diferença de eletronegatividade entre os átomos confere, assim, um caráter polar à ligação covalente, que passa a ser chamada de **ligação covalente polar** (figura 9.10).

Quanto maior for a diferença de eletronegatividade entre os átomos, maior será a polaridade da ligação formada. (31c)

Figura 9.10
Modelo de ligação covalente polar.

Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

A figura 31a retrata um exemplo de imagem de caráter conotativo, uma vez que a imagem retratando a Ilha de Marajó no Pará mostra-se “solta”, ou seja, o texto acaba descrevendo os conteúdos sem mencionar sua correspondência com os elementos contidos na imagem, talvez porque os autores do livro supõem serem óbvias a relação entre a imagem e texto.

A relação de caráter denotativo (Figura 31b) permite uma melhor compreensão para o aluno, pois os elementos das imagens correspondem ao conteúdo textual. No caso há três fotografias de materiais distintos, o cobre, o diamante e o cloreto de sódio e há explicações sobre eles no decorrer do texto sobre

as elevadas temperaturas de fusão que possuem e os tipos de interação existentes entre as partículas constituintes.

A figura 31c classifica-se como sinóptica, devido ao estabelecimento de uma ligação mútua entre imagem e texto. A ilustração exemplifica a formação de polos na molécula de Ácido Clorídrico (HCl), pela ligação covalente formada entre os átomos de H e de Cl e por possuírem diferentes intensidades de eletronegatividade, o Cl atrai mais fortemente a nuvem eletrônica para si do que o H, que é menos eletronegativo que o Cl. Para se ampliar as possibilidades de apropriação conceitual do estudante é primordial a presença da imagem em conjunto com seu texto explicativo neste contexto.

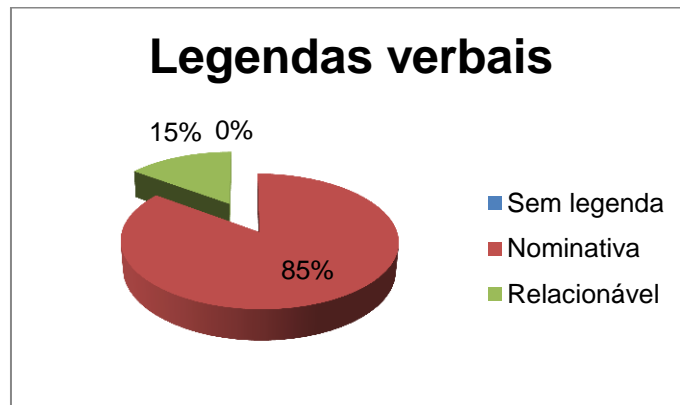
Rego e Gouvêa (2013) afirmam que a leitura de imagens é polissêmica, isto é, “pode adquirir sentidos diferentes para leitores diferentes, ou para um mesmo leitor em momentos distintos, devido às suas experiências anteriores no contato, na percepção do mundo” (p. 129). Ainda segundo as autoras, o processo de leitura de uma imagem não ocorre pela mera decodificação de signos inseridos, não sendo menos importante do que o texto escrito, sendo primordial um aprendizado para sua leitura, pois a ilustração é um modo semiótico que corrobora o linguístico, suscitando novos meios para a apropriação.

- Categoria Legendas verbais

Os autores do LD 2 assim como os do LD 1 atentaram-se quanto à inserção de legendas nas ilustrações, visto que não há imagens sem elas. É essencial uma imagem conter identificação em um livro, servindo como recurso facilitador para o estudante interpretar a imagem em conjunto com outros componentes, encontrando motivo para a imagem estar presente.

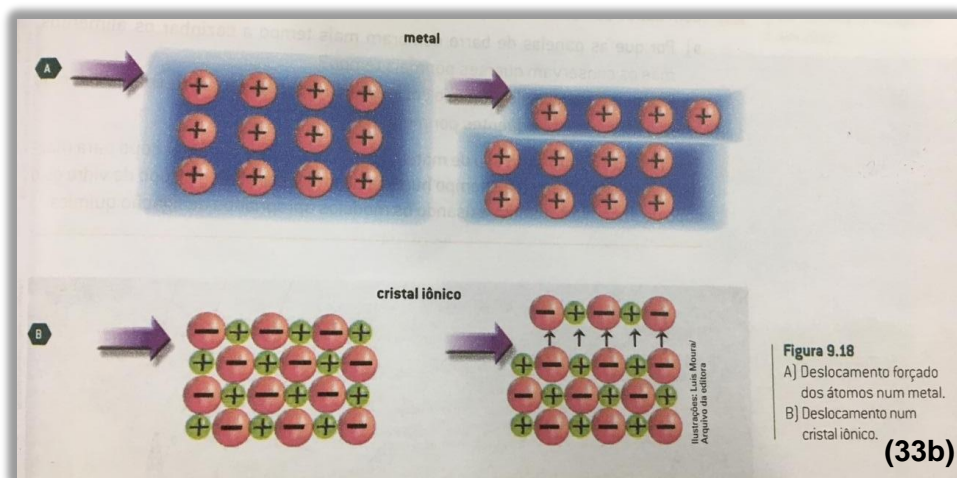
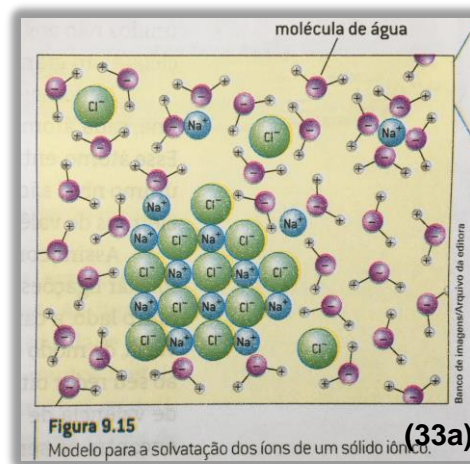
No gráfico seguinte (Figura 32), encontram-se as quantidades dos dois tipos de legendas presentes, sendo a nominativa encontrada em maior quantidade (85%).

Figura 32 – Representação gráfica das imagens classificadas pelas legendas verbais



Fonte: do Autor.

Figura 33 - Exemplos de imagens com legenda do tipo Nominativa (33a) e Relacionável (33b)



Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

As figuras 33a e 33b foram utilizadas como exemplos de representações visuais com legendas do tipo nominativa e relacionável. A legenda nominativa caracteriza-se por letras e/ou palavras que identificam elementos presentes na imagem. Conforme se observa, a figura 33a possui a função de mostrar a solvatação realizada pelas moléculas de água no sólido iônico de NaCl. Nela, há os símbolos dos íons dentro de bolinhas representando o aglomerado iônico NaCl e bolinhas com sinais de positivo e negativo identificando a polarização das moléculas de água, na qual a parte positiva corresponde aos átomos de hidrogênio e a parte negativa aos átomos de oxigênio, além da identificação de que isto seriam moléculas de água.

A legenda relacionável, evidenciada na figura 33b, faz a relação entre as imagens A e B por mostrar um modelo que explica como ocorre o deslocamento dos átomos em um metal e o deslocamento de íons em um cristal iônico. Essa característica possibilita ao estudante identificar as diferenças e semelhanças entre ambos e refletir sobre as propriedades dos metais e dos sólidos iônicos, como a maleabilidade e ductibilidade dos metais e o caráter quebradiço dos cristais iônicos.

- Categoria Conteúdo científico

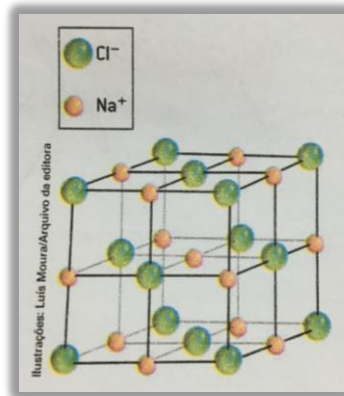
Conforme apresentado anteriormente (p. 64), os quesitos considerados para este item foram pautados na descrição realizada na página 43.

Conteúdo científico com as representações-chave do tópico Ligações Iônicas

Para esta categoria foram considerados os mesmo conteúdos, conforme descrito na secção destinada a esta categoria do LD1.

Os autores do LD 2 optaram por utilizar mais a linguagem textual, inserindo somente uma imagem do retículo cristalino do NaCl como exemplo de sólido iônico (Figura 34) e uma imagem sobre solvatação para complementar o texto explicativo sobre as propriedades das substâncias iônicas e condução de eletricidade realizada pelos íons Na^+ e Cl^- em água. Os outros itens não são abordados no capítulo na forma de ilustrações e também não são mencionados no decorrer do texto.

Figura 34 – Retículo cristalino do NaCl



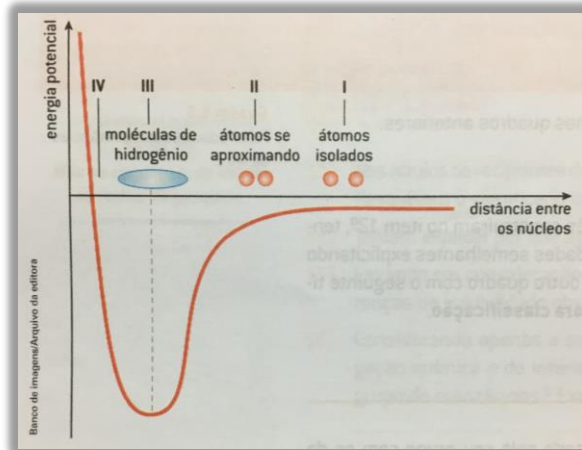
Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

Conteúdo científico com as representações-chave do tópico Ligações Covalentes

Considerando os mesmos itens analisados para o LD1, os autores do LD 2 optaram por inserir fórmulas estruturais de algumas moléculas, juntamente com sua fórmula molecular e as temperaturas de fusão e de ebulição, favorecendo ao aluno associar essas propriedades dos compostos moleculares com o tamanho ou características de sua cadeia carbônica, visualizada pela fórmula estrutural. Optam por somente apresentar as fórmulas estruturais planas, sem, contudo, introduzir o conteúdo sobre geometria molecular e TRPECV (Teoria de Repulsão entre os Pares de Elétrons da Camada de Valência) e também não fazem uso das fórmulas de Lewis.

Este LD apresenta também o estudo sobre a polaridade das moléculas, associado às ilustrações de moléculas polares e moléculas apolares e demonstram por meio de gráfico, as forças de atração e repulsão eletrostáticas, visando uma melhor visualização para o estudante a respeito das interações envolvidas e a questão energética durante a aproximação dos átomos (Figura 35).

Figura 35 – Diagrama de energia para a formação da molécula de H_2

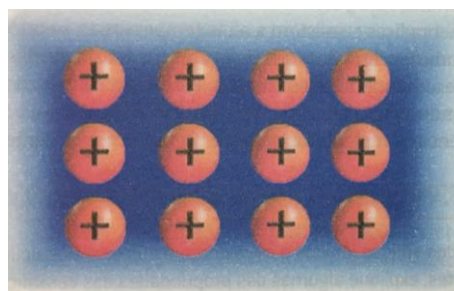


Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H., (2016).

Conteúdo científico com as representações-chave do tópico Ligações Metálicas

Pautando-se nos itens utilizados para o LD1, este LD também insere a imagem do modelo “mar de elétrons” (Figura 36) para iniciar o estudo dos metais. Explica sobre as propriedades macroscópicas dos materiais metálicos, com exemplos ilustrativos tal qual a outra obra, optando também por não trazer exemplos de imagens dos retículos cristalinos dos sólidos metálicos.

Figura 36 – Modelo “mar de elétrons”



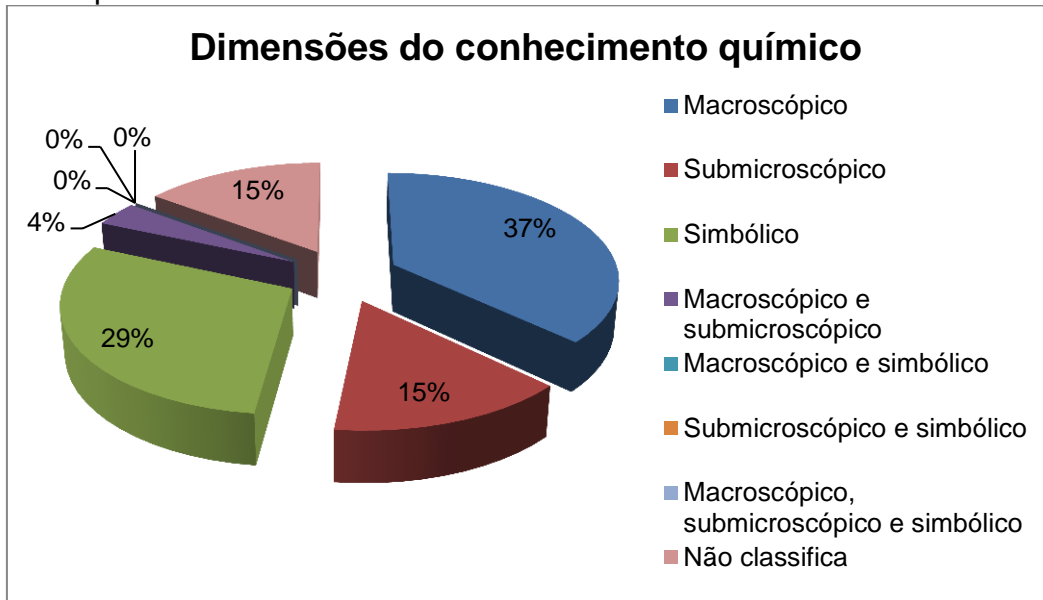
Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

- Categoria Dimensões do conhecimento químico

No LD 2, as imagens caracterizadas no nível macroscópico (37%) são as preeminentes (Figura 37). Esse resultado é reflexo da categoria Iconicidade que traz justamente as fotografias como as mais evidentes para o LD 2, tornando-se claro que o nível macroscópico de conhecimento químico é o mais privilegiado, isto

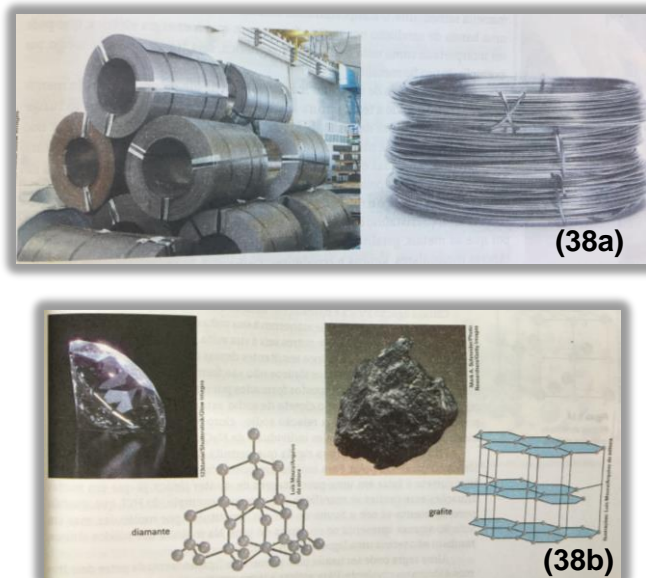
porque pode tornar imediata a compreensão do aluno por não conter componentes que requerem um conhecimento mais amplo do conceito, por conter um grau alto de iconicidade e baixo grau de abstração.

Figura 37 – Representação gráfica das imagens quanto à categoria dimensão do conhecimento químico



Fonte: do Autor.

Figura 38 - Exemplos caracterizando as Dimensões do conhecimento químico – Macroscópico (38a) e Macroscópico e Submicroscópico (38b)



Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. (2016).

Como exemplo de imagem abarcando o universo macroscópico da matéria, a figura 38a retrata as diversas formas que os metais podem adquirir, sendo lâminas, fios e tubos, dependendo da aplicação a qual se destina.

O exemplo 38b aborda dois níveis em uma única representação, o nível macroscópico + o nível submicroscópico, conduzindo o estudante, intencionalmente, a efetuar a transição de pensamento abstrato, partindo do exemplo do macro e adentrando-se no universo submicroscópico da matéria, apresentado numa única imagem. As imagens permitem observar que se abordam as fotografias de duas das formas alotrópicas do elemento Carbono, o Carbono Diamante e o Carbono Grafite, juntamente com os arranjos geométricos característicos dos átomos de carbono ligados covalentemente. Se o estudante possui conhecimento prévio acerca do uso desses materiais, essa imagem pode conduzi-lo à reflexão sobre a aplicação no dia a dia e propriedades específicas do grafite e também do diamante, com base no arranjo tridimensional e pela distância entre os átomos de Carbono que constituem esses dois sólidos covalentes, conferindo as particularidades únicas de cada material, mesmo sendo constituídos pelo mesmo tipo de átomo.

5.4 Comparativo dos resultados das categorias de análise do LD 1 e LD 2 no que se refere às restrições e potencialidades das imagens

- Quantificação das imagens pelas categorias de análise

Tabela 12 - Resultados da categoria Iconicidade

ICONICIDADE		
	LD 1	LD 2
Fotografia	18	11
Desenho Figurativo	0	0
Desenho Figurativo + Signos	0	0
Desenho Figurativo + Signos Normalizados	1	0
Desenho Esquemático	4	4
Desenho Esquemático + Signos	13	8
Desenho Esquemático + Signos Normalizados	35	4
TOTAL	71	27

Fonte: do Autor.

Tabela 13 - Resultados da categoria Funcionalidade

FUNCIONALIDADE		
	LD 1	LD 2
Inoperante	18	8
Operativa Elementar	6	7
Sintática	47	12
TOTAL	71	27

Fonte: do Autor.

Tabela 14 - Resultados da categoria Relação entre imagem e texto

RELAÇÃO ENTRE IMAGEM E TEXTO		
	LD 1	LD 2
Conotativa	11	5
Denotativa	17	11
Sinóptica	43	11
TOTAL	71	27

Fonte: do Autor.

Tabela 15 - Resultados da categoria Legendas verbais

LEGENDAS VERBAIS		
	LD 1	LD 2
Sem legenda	0	0
Nominativa	61	23
Relacionável	10	4
TOTAL	71	27

Fonte: do Autor.

Tabela 16 - Resultados da categoria Dimensões do conhecimento químico

DIMENSÕES DO CONHECIMENTO QUÍMICO		
	LD 1	LD 2
Macroscópico	18	10
Submicroscópico	11	4
Simbólico	29	8
Macroscópico e submicroscópico	2	1
Macroscópico e simbólico	0	0
Submicroscópico e simbólico	7	0
Macroscópico, submicroscópico e simbólico	0	0
Não classifica	4	4
TOTAL	71	27

Fonte: do Autor.

Segundo os dados coletados, o livro intitulado “Química Cidadã”, de Santos e Mól (coords.), o LD1, contém um total de 71 imagens compondo o capítulo de Ligações Químicas e traz mais imagens do tipo figura ou desenho, correspondendo a 63%, contra 25% de fotografias, 1% de tabelas e nenhum gráfico. No quesito iconicidade, o desenho esquemático + signos normalizados são os mais recorrentes, correspondendo a 35 imagens, a funcionalidade da imagem sintática é a que mais se mostra, presente em 47 ilustrações, a relação do tipo sinóptica entre a imagem e o texto se destaca em 43 imagens e a legenda do tipo nominativa se sobressai, presente em 61 representações visuais. Em relação ao nível de conhecimento químico de Johnstone, o simbólico é o que mais é evidenciado nas imagens e o conteúdo científico presente nelas sobre os temas ligação iônica, covalente e metálica é bastante satisfatório, frente ao estudo realizado sobre o que a imagem deve conter para ser considerada potencial ao estudo de ligações químicas.

O livro de Mortimer e Machado, com o título “Química – Ensino Médio”, o LD 2, opta por trazer menos imagens que o Química Cidadã, somando 27 imagens para o capítulo de Ligações Químicas, contendo também menos páginas em relação ao assunto, apresentando um conteúdo mais enxuto, contudo não menos complexo e válido que o anterior. Ambos os livros analisados destinam um número restrito de páginas para o estudo de ligações metálicas, sendo isso observado também em outros LDs, talvez devido ao fato de ser um assunto mais complexo que os demais, requerendo maior nível de abstração do aluno e, por consequência, abordado com pouca ênfase e de maneira mais simplificada nos livros didáticos em geral.

Para o livro de Mortimer e Machado, a imagem do tipo fotografia compreendendo 41% do total é o mais presente, seguido de figura ou desenho (37%), tabela (15%) e gráficos (7%). Na categoria iconicidade, a fotografia se destaca, compondo 11 imagens, a funcionalidade sintática também se sobressai, totalizando 12 ilustrações, quanto à relação estabelecida entre imagem e texto, há um empate entre denotativa e sinóptica, ambas com 11 imagens, a legenda do tipo nominativa, assim como no outro livro, é a que mais aparece, perfazendo 23 ilustrações do total. Quanto ao nível de conhecimento químico, o nível macroscópico é o que ganha destaque, frente ao maior número de fotografias e o conteúdo científico inserido nas imagens apresenta-se menos satisfatório em relação à outra obra, levando em conta os requisitos considerados para essa pesquisa. No entanto, outros requisitos poderiam ser considerados para compor as representações-chave

para as Ligações Químicas, dependendo do olhar do pesquisador. Deste modo, não cabe a nós, pesquisadoras, julgarmos se uma obra mostra-se “melhor” em termos de potencialidade imagética acerca da agregação do conteúdo científico que a outra, visto que há outras possibilidades de análise.

Para uma imagem ser potencial no sentido de assumir um papel importante na apropriação de conhecimento, ela deve ter uma função dirigida e não meramente adornar o texto no qual se insere.

As legendas são primordiais para o leitor identificar a composição da imagem e todas as que foram quantificadas em ambos os livros possuem legendas, sendo este um fator positivo para tornar a imagem mais significativa e conseqüentemente mais potencial.

A imagem também deve estabelecer uma relação com seu texto, uma vez que sua função pode ser tanto para complementar o que o texto está dizendo, apresentando-se como uma ferramenta de aprendizado como também criar um vínculo com o texto que, na ausência dela, o aprendizado se compromete e o texto perde o sentido.

Quanto à função da imagem no texto, ela pode se apresentar de diversas maneiras e tratando-se do tema estudado, Ligações Químicas, as imagens sintáticas são as mais recorrentes e mais potenciais por retratarem um tema abstrato que exige do leitor um olhar para o universo micro dos materiais, repleto de símbolos, sinais e regras químicas específicas. E justamente por isso, em termos de iconicidade da imagem, os desenhos esquemáticos com signos são utilizados com certa frequência pelos autores desses livros e de outros também, por ser um tipo de representação que permite exemplificar os diversos modelos explicativos sobre as ligações químicas, as forças existentes entre os átomos, o arranjo espacial das moléculas e aglomerados iônicos, possibilitando materializar através de um desenho como se acredita que os átomos se unem e se distinguem uns dos outros.

Uma representação visual ganha em potencialidade quando o leitor, ao observá-la, é capaz de compreender diversos fenômenos intrinsecamente contidos nela e também os mais aparentes, que possibilite também fazer a transição entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico da matéria. Imagens do tipo híbrida, que contém diversos níveis de representação do conhecimento químico contidos nela, crescem em potencialidade, pois o leitor depara-se com várias

possibilidades e níveis de se observar a matéria, apropriando-se de um novo conhecimento e a imagem cresce em significação.

A imagem possui restrições quando tem a função de simplesmente enfeitar o texto, não contendo nenhum tipo de legenda que possa identificar elementos dela, ou que aparecem com o texto, porém não é mencionada sua relação com ele. Algumas imagens tornam-se restritivas também por muitas vezes não serem coloridas, dificultando sua leitura, pois a cor é um recurso gráfico facilitador para separar e identificar os elementos presentes nas imagens que retratam conceitos muito abstratos, além de ser mais atraente para o leitor. No caso dos livros pesquisados, todas as imagens são a cores. Outra restrição da imagem é que, por ser estática, torna-se mais difícil para o leitor, por exemplo, conseguir visualizar a tridimensionalidade das moléculas e o movimento dos elétrons em uma ligação química. Para garantir novas possibilidades de visualização, os softwares de química e animações mostram-se como recurso alternativo e complementar ao livro didático que contém textos e suas ilustrações.

Por fim, após a análise, pode-se caracterizar que as imagens nos livros LD 1 pautam-se mais em desenhos esquemáticos, pois há uma preocupação maior dos autores em retratarem como as ligações entre os átomos ocorrem microscopicamente, por meio de modelos.

As imagens de LD 2 fixam-se em fotografias, pois há opções do autores em abordarem mais imagens que reproduzem fatos do cotidiano, procurando trazer o conhecimento prévio dos alunos.

Entre os dois livros é possível observar que fazem um bom uso da imagem, trazendo-as para a complementação da compreensão do conteúdo e todas elas tornam-se indispensáveis para a leitura textual. Cada imagem, não importando se é um desenho ou uma fotografia, enriquece o texto e norteia o aluno para obter uma melhor compreensão do tema.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do objetivo proposto, este trabalho teve como finalidade analisar as representações visuais presentes em livros didáticos de Química para o 1º ano do Ensino Médio, com o intuito de respondermos à seguinte questão: Como se configuram as representações visuais sobre ligações químicas observadas nas ilustrações presentes em livros didáticos atuais de Química do Ensino Médio?

Conforme observamos, o livro didático ocupa um lugar de destaque no contexto pedagógico e o professor é quem estabelece a ligação dos conceitos científicos apresentados no livro com a aplicabilidade no dia a dia do estudante para que ele possa estabelecer relações e sair do senso comum. Cabe ao professor diante das ideias prévias e cotidianas do estudante acerca dos fenômenos discutidos, utilizar os mais variados recursos sógnicos, como a fala, expressões, gestos, palavras escritas, símbolos, recursos multimídia e imagens, esta última presente nos materiais didáticos, para que o estudante se aproprie dos conceitos largamente abstratos da química.

Diante desta questão levantada, refletimos que um bom livro didático apresenta-se como uma ferramenta indispensável ao estudo da química, e como é o caso deste trabalho, no estudo de ligações químicas, pois é um tema que exige certo grau de abstração por parte do estudante, por abranger quase que exclusivamente o universo submicroscópico da matéria.

A teoria dos signos de Charles Sanders Peirce foi de extrema importância para este estudo, pois serviu como pressuposto teórico e aprofundamento analítico das imagens, uma vez que possibilitou uma compreensão mais ampla sobre a função da imagem no livro e se ela tem potencialidade de propiciar ao estudante o conhecimento necessário para fazê-lo transitar tanto pelos níveis de primeiridade, secundidade e terceiridade peirceanos como também nos aspectos macroscópico, submicroscópico e simbólico os quais toda matéria pode ser representada.

A partir dos pressupostos semióticos de Peirce, foi possível observar que as imagens do livro “Química Cidadã” se pautaram, principalmente, quanto à primeira tricotomia, ou seja, o signo por si mesmo, em legissignos e o livro “Química – Ensino Médio” apresentou mais ilustrações classificadas como qualissignos. Em relação à segunda tricotomia, isto é, o signo por seu objeto, o livro “Química Cidadã” abordou

mais ilustrações que se enquadraram na categoria símbolo, por conter representações com o uso de regras e símbolos inerentes à química e a obra “Química – Ensino Médio” enfatizou mais representações classificadas como ícone, uma vez que ofereceu maior quantidade de fotografias.

Confirmando essas análises, as categorias de Perales e Jiménez fomentaram na compreensão do papel exercido da imagem quando inserida nas páginas dos livros didáticos, fazendo-nos refletir sobre suas possibilidades e limitações.

Sendo assim, a pesquisa acerca das imagens realizada em 2002 por Perales e Jiménez mostrou-se aplicável a esse estudo, pois, propuseram classificar a imagem sob diversas facetas. Utilizou-se, portanto, as categorias iconicidade (grau de complexidade da ilustração), funcionalidade (o que se pode fazer com as ilustrações), relação da imagem com o texto principal (referências mútuas entre texto e imagem), legendas verbais (textos incluídos nas ilustrações) e conteúdo científico (as imagens se apoiam ou não em representações-chave para a correta interpretação dos fenômenos). Optou-se por incluir como categoria analítica a dimensão do conhecimento químico elaborado por Johnstone (1993; 2000), a fim de complementar o estudo da imagem. Os dados revelaram que no quesito iconicidade, os desenhos esquemáticos com signos normalizados e fotografias foram a maioria; a funcionalidade sintática foi a mais recorrente; quanto à relação entre imagem e texto, houve presença marcante da relação sinóptica e denotativa; na categoria legendas verbais, as legendas do tipo nominativa prevaleceram e no que se refere ao conteúdo científico, ambos os livros contemplaram de modo satisfatório as representações-chave essenciais para a interpretação do fenômeno. Quanto aos níveis de conhecimento químico, os níveis simbólico e macroscópico foram os mais observados.

Este trabalho mostrou-se relevante para o contexto do ensino por tratar de livros didáticos atualmente utilizados nas salas de aula brasileiras e aprovados em todas as edições do PNLB, possuindo, contudo, grande aceitação dos avaliadores e professores que os utilizam em suas aulas. Estudar as potencialidades e restrições das imagens presentes nos livros e também os conteúdos científicos oferecidos por elas torna-se primordial, uma vez que grande parte da superfície das páginas dos livros contém ilustrações e pelo fato de ligações químicas ser um tema em grande parte abstrato, torna-se fecundo para o estudante conhecer, relacionar e aprofundar-se nos diversos modelos científicos dos átomos e de ligações químicas propostos

pelos cientistas ao longo das décadas, para que assim possa compreender mais amplamente as ligações estabelecidas entre os átomos e a importância desse fenômeno para as transformações químicas do universo macro e a produção dos diversos tipos de materiais, inseridos nas mais diversas áreas, como a medicina, a biotecnologia, a nanotecnologia, transformando também o universo micro, o nosso cotidiano, o nosso modo de vida de ver, fazer e sentir as coisas.

Por fim, acreditamos que as possibilidades desta pesquisa não se esgotam com o estudo realizado. Com o propósito de se agregar também a terceira tricotomia de Peirce, o signo em relação a seu interpretante, há a possibilidade de expandi-la para estudos de casos, envolvendo alunos e aplicação de atividades contendo imagens em diversos níveis de complexidade, tanto na ótica peirceana como também compreendendo os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, para possibilitar tanto ao pesquisador quanto ao professor atuante na sala de aula, uma avaliação mais efetiva sobre qual o olhar que o estudante possui ao examinar e compreender uma imagem que se mostra muitas vezes simples, porém outras vezes um tanto quanto complexa.

7 REFERÊNCIAS

BERGQVIST, A.; DRECHSLER, M.; JONG, O. e RUNDGREN, S. C. Representations of chemical bonding models in school textbooks – help or hindrance for understanding? **Chemistry Education Research and Practice**, n. 14, p. 489-606, 2013.

BLANCO, A; PRIETO, T. Algunas cuestiones sobre la comprensión de la Química desde la perspectiva de las “ideas de los alumnos”. **Investigación en la escuela**, 28, 69-78, 1996.

BRASIL, Ministério da Educação (MEC). **Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio – PNLEM**. Brasília: 2004. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/observatorio-da-educacao/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/13608-programa-nacional-do-livro-didatico-para-o-ensino-medio-pnlem>>. Acesso em: 20/11/2018.

CARNEIRO, M. H. S. As imagens no livro didático. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 1., 1996, **Atas**, Águas de Lindóia, ABRAPEC, 1997. v. 1. p. 366-376.

COSTA, C. **Educação, imagem e mídias**. São Paulo: Cortez, 2005.

COUTINHO, F. A.; SOARES, A. G.; BRAGA, S. A. M. Análise do valor didático de imagens presentes em livros de Biologia para o ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 3, 2010.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e Pesquisa**, v. 30, n. 3, p. 549-566, 2004.

FANARO, M. A; OTERO, M. R. e GRECA, I. M. Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 4(2), 2005. Disponível em: <www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 05/02/2018.

FERNANDES, J. D. C. **Introdução à Semiótica**, 2012. Disponível em: <http://www.cchla.ufpb.br/clv/images/docs/modulos/p8/p8_4.pdf>, Acesso em: 20/11/2017.

FERNANDEZ, C; MARCONDES, M. E; Concepções dos estudantes sobre Ligação Química. **Química Nova na Escola**, v. 24, 2006. p. 20-24. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc24/af1.pdf>>. Acesso em: 30/05/2017.

FILGUEIRAS, J. M. As avaliações dos livros didáticos na Comissão Nacional do Livro Didático: a conformação dos saberes escolares nos anos de 1940. **Revista Brasileira de História da Educação**, v. 13, n. 1 [31], jan./abril de 2013, p. 159-192. Acesso em: 10/01/2019.

FREITAS, D. S. **Imagens visuais nos livros didáticos de biologia do ensino médio: o caso do DNA**. Campinas, 2002. 173 p. Tese de doutorado. Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas.

GARCIA, J. J. G.; PALACIOS, F. J. P. Como usan los profesores de Química las representaciones semióticas? **Revista Eletrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 5, n. 2, 2006.

GARCIA F.A.; GARRITZ, R.A.; Desenrrollo de uma unidade didáctica: El estudio Del enlace químico em bachillerato. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24 (1), p. 111-124, 2006. Disponível em: <<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/73536/84744>>. Acesso em: 02/06/2018.

GIBIN, G. B.; FERREIRA L. H. Avaliação dos Estudantes sobre o Uso de Imagens como Recurso Auxiliar no Ensino de Conceitos Químicos. **Química Nova na Escola**, vol. 35, nº 1, p. 19-26, 2013.

GILBERT, J. K. (Ed.). **Visualization in Science Education**, 2005. Dodrecht: Springer, 2005.

GOUVÊA, G.; OLIVEIRA, C. I. C. Memória e representação: imagens nos livros didáticos de física. **Ciências & Cognição**, [S.l.], v. 15, n. 3, set. 2010. ISSN 1806-5821. Disponível em: <<http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/368>>. Acesso em: 02/09/2018.

GOIS, J; GIORDAN, M. Semiótica na Química: a teoria dos signos de Peirce para compreender a representação. **Química Nova na Escola**, n. 7, 2007.

GONZÁLEZ-FELIPE, M. E; AGUIRRE-PÉREZ, C; CORTES-SIMARRO, J. M; FERNÁNDEZ, R. e VÁZQUEZ, A. M. (2017). Estudio del tratamiento del enlace químico en los libros de texto españoles. **Revista Electrónica de Investigación Educativa**, 19(3), 60-70. Disponível em: <<https://doi.org/10.24320/redie.2017.19.3.1184>>. Acesso em: 02/06/2018.

JOHNSTONE, A.H. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. **University Chemistry Education**, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

_____. Chemical education research: where from here?. **University Chemistry Education**, v. 4, n. 1, p. 34-38, 2000.

LEITES, M. L.; BENARROCH, B, A. PALACIOS, F. R. P. Las imagenes sobre enlace químico usadas em los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. **Enseñanza de Las Ciencias**, v. 26, n. 2, p. 149-172, 2008.

LEMES, A. F. G; SOUZA, K. A. F. e CARDOSO, A. A. Representações para o processo de dissolução em livros didáticos de química: o caso do PNLEM. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 3, p. 184-190, 2010.

LEMKE, J.L. Investigar para el Futuro de la Educación Científica: Nuevas Formas de Aprender, Nuevas Formas de Vivir, **Enseñanza de las Ciencias**, 2006. v. 24, n.1, 5-12.

_____. Letramento metamidiático: transformando significados e mídias. **Trab. linguist. apl.**, Campinas, v. 49, n. 2, p. 455-479, dec. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-18132010000200009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20/05/2018.

LEVIN, J. R. On the functions of pictures in prose. In F. J. Pirozzolo & M. C. Wittrock (Eds.), **Neuropsychological and cognitive processes in reading** (p. 203-228). San Diego, CA: Academic Press, 1981.

LEVY NANHUM T.; MAMLOK-NAAMAN R.; HOFSTEIN A. e KROKNIK, L. A new 'bottomup' framework for teaching chemical bonding. **Journal of Chemical Education**, **85**,1680–1685, 2008.

LEVY NANHUM T.; MAMLOK-NAAMAN R.; HOFSTEIN A. e TABER K. Teaching and learning the concept of chemical bonding, **Stud. Sci. Educ.**, 46, 179–207, 2010.

MIRANDA, D. G. P; COSTA, N. S. **Professor de Química: Formação, competências/habilidades e posturas**. 2007. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/eduquim/formdoc.html>>. Acesso em: 02/05/2017.

MOLES, A. A. **L'image**: Communication Fonctionelle. Paris: Casterman, 1981.

MORI, R. C.; CURVELO, A. A. da S. Química no ensino de ciências para as séries iniciais: uma análise de livros didáticos. **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru , v. 20, n. 1, p. 243-258, Mar. 2014 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132014000100015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 02/06/2018.

MORTIMER, E. F. **O ensino de estrutura atômica e de ligação química na escola de 2º grau: drama, tragédia ou comédia?** Belo Horizonte: PG em Educação, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, 1988a, 359p. (Dissertação de Mestrado).

MORTIMER, E. F. A evolução dos livros didáticos de Química destinados ao ensino secundário. **Em aberto**, Brasília, ano 7, n. 40, 1988b.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. e ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 32, n. 2, p. 273-283, 2000.

MORTIMER, E.F.; MOL, G. e DUARTE, L.P. Regra do octeto e teoria da ligação química no Ensino Médio: Dogma ou Ciência? **Química Nova**, v. 17, p. 243-252, 1994. Disponível em: <http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol17No3_243_v17_n3_%2811%29.pdf>. Acesso em 10/10/2017.

MORTIMER, E. F.; SANTOS, W. Políticas e práticas de livros didáticos de química. o processo de constituição da inovação x redundância nos livros didáticos de química de 1833 a 1987. In: ROSA, Maria Inês Petrucci; ROSSI, Adriana Vitorino (Ed.). **Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências**. Campinas: Átomo, 2008. p. 85–103.

OLIVEIRA, J. P. T. **A eficiência e/ou ineficiência do livro didático no processo de ensino-aprendizagem**. In: IV congresso ibero-americano de política e administração da educação/VII congresso Luso-Brasileiro de política e administração da educação, 2014. Porto: Escola Superior de Educação do Politécnico do Porto. Disponível em: <http://www.anpae.org.br/IBERO_AMERICANO_IV/GT4/GT4_Comunicacao/JoaoPauloTeixeiradeOliveira_GT4_integral.pdf>. Acesso em: 05/02/2018.

PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; MIRANDA, A. C. G. e DE FREITAS, R. T.G. Análise dos recursos visuais utilizados no capítulo de ligações químicas dos livros didáticos do PNLD 2015. **Acta Scientiae**, 18(1), 2016.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. São Paulo: Perspectiva, 2010.

PERALES, F.J.; JIMÉNEZ, J.D. Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 369-386, 2002.

PEREIRA JUNIOR, C. A.; AZEVEDO, N. R. Regra do octeto: obstáculo para aprendizado do conceito de ligações químicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 63, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBPC, 2011. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/prolicen/trabalhos-prolicen/prolicen-carlos-antonio.pdf>>. Acesso em: 22/08/2017.

REGO, S. C. R.; GOUVÊA, G. Imagens na disciplina escolar física: possibilidades de leitura. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 1, p. 127–142, 2013.

ROQUE, M. I. **Design, a outra ciência dos signos**, in *a.muse.arte*, 2015. Disponível em: <<https://amusearte.hypotheses.org/1075>>. Acesso em: 10/10/2017.

ROZENTALSKI E. F.; PORTO, P. A. Imagens de orbitais em livros didáticos de química geral no século XX: uma análise semiótica. **Investigações em Ensino de Ciências** – V20(1), pp. 181-207, 2015.

SANTAELLA, L. **A Teoria Geral dos Signos: Como as linguagens significam as coisas**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

_____. **O Método Anticartesiano de C. S. Peirce**. São Paulo: UNESP, 2004.

_____. **O que é a Semiótica**. Coleção Pequenos Passos: 103, Editora Brasiliense, 1983.

SANTOS FILHO, P. F. **Estrutura Atômica e Ligação Química**. Campinas: UNICAMP, 2007.

SCALCO, K. C. **Estudos das representações sobre ligações químicas nos livros didáticos e suas contribuições para o processo de aprendizagem**. Alfenas, 2014. 180 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas.

SCHNETZLER, R. P. **O tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros para o ensino secundário de química de 1875 a 1978**. 1980. 188 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas.

SEBATA, C. E. ; SANDOS DOS, W. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. As imagens em textos didáticos de temas sociais em um livro didático de química: análise de seu papel pedagógico. In: **V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências / Atas do V Enpec**, n. 5, 2005.

SHAPIRO, B. Reading the furniture: The semiotic interpretation of science learning environments, en Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (eds.). **International Handbook of Science Education**, pp. 609-622. Holanda: Kluwer Acad. Publ, 1998.

SILVA, H. C., ZIMMERMANN, E., CARNEIRO, M. H. da S., GASTAL, M. L. e CASSIANO, W. S. Cautela ao usar imagens em aulas de ciências. **Ciência e Educação**, v. 12, n. 2, p. 219-233, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v12n2/07.pdf>>. Acesso em: 30/05/2017.

SILVA, M. A. A fetichização do livro didático. **Educação e Realidade**, v. 37, n. 3, set./dez. de 2012, p. 803-821. Acesso em: 10/01/2019.

SILVA, R. Uma percepção do olhar: os três paradigmas da imagem à luz da semiótica peirceana. **Comunicação & Educação**. Ano XIII, n. 3. Set/dez 2008.

SOUZA, K. A. F. de. **Estratégias de comunicação em química como índices epistemológicos**: análise semiótica das ilustrações presentes em livros didáticos ao longo do século XX. 2012. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/T.46.2012.tde-08052013-095035. Acesso em: 20/12/2017.

SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. A. **Estratégias visuais na construção de uma realidade química: análise semiótica das ilustrações em livros didáticos ao longo do século XX**. In: Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências, 2012, Campinas: ABRAPEC, 2011. Disponível em <<http://nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0929-1.pdf>>. Acesso em: 03/05/2017.

TABER, K. S. Student conceptions of chemical bonding: using interviews to follow the development of A level students' thinking, paper presented to the Conference on On-going Research, **Facets of Education - Dimensions of Research**, 1993, Institute of Educational Research and Development, University of Surrey. Disponível em: <http://www.leeds.ac.uk/educol/>. Acesso em: 10/05/2018.

TABER, K. S. (1997a). **Understanding Chemical Bonding - the development of A level students' understanding of the concept of chemical bonding**, 1997a, Tese de doutorado, University of Surrey.

TREVISAN, M. D.; CARNEIRO, M. C. Uma descrição semiótica da metáfora no Ensino de Biologia: asserções sobre a célula animal. **Investigações em Ensino de Ciências**, 2009, 14(3), 479-496.

VASCONCELOS, W. S.; JULIÃO, S. da S. Abordagem Alternativa para o Conteúdo de Ligações Químicas no Ensino Médio. **Essentia**, Sobral, vol. 13, nº 2, p. 139-163, dez. 2011/maio 2012. p. 139-163. Disponível em: http://www.uvanet.br/essentia.old/educacao_ano13n2/abordagem_alternativa.pdf. Acesso em: 03/09/2017.

WARTHA, E. J.; REZENDE, D de B. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.16, n.2, p. 275-290, 2011.

WARTHA, E. J.; REZENDE, D. de B. A elaboração conceitual em química orgânica na perspectiva da semiótica Peirceana. **Ciênc. educ. (Bauru)** [online]. 2015, vol.21, n.1, pp.49-64. ISSN 1516-7313. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150010004>>. Acesso em: 01/12/2017.