

As distorções conceituais no ensino de ligações iônicas e uma alternativa para evitá-las.

Larissa Rocha Almeida (PG)^{1*}, Pedro Faria dos Santos Filhos (PQ)²

*rocha.almeida.larissa@gmail.com

¹ Programa de Pós-Graduação do Instituto de Química, IQ-Unicamp, Campinas, SP.

² Departamento de Química Inorgânica, IQ-Unicamp, Campinas, SP.

Palavras-Chave: concepções alternativas, ligações iônicas, livros didáticos.

RESUMO:

A origem de concepções alternativas, segundo a literatura científica, está atrelada à forma como o conteúdo é apresentado tanto em sala de aula como nos livros didáticos. No Ensino de Química, o tema de ligações químicas é considerado problemático, pois comumente se verificam concepções alternativas sobre este conteúdo. Diante disso, no presente trabalho procurou-se investigar os principais tópicos, dentro do conteúdo de ligações iônicas, que levam a concepções alternativas pelos estudantes. Constatou-se que os livros didáticos brasileiros reforçam o que a literatura científica reporta como problema, principalmente, na formação dos compostos iônicos, uma vez que a abordagem apresentada induz a equívocos conceituais por parte dos alunos. Diante disso, foi possível construir uma proposta que contém informações aos professores, no sentido de interpretar os compostos iônicos de uma maneira alternativa àquela apresentada nos livros didáticos, e que não leva aos equívocos conceituais normalmente observados.

1. INTRODUÇÃO

Nossa visão, ideias e opiniões sobre o mundo que nos cerca são construídas em nosso dia a dia através do contato com as diversas situações do cotidiano e, principalmente, pelas interações sociais. Diante de todas as informações que recebemos ao longo de nossas vidas, a escola surge como o ambiente em que elas podem receber novos significados e serem corrigidas pelas concepções mais aceitas socialmente. Esta visão é chamada de construtivista e enxerga o indivíduo como participante ativo de seu aprendizado, e que traz consigo uma bagagem de conhecimentos (DRIVER; SQUIRES; WOOD-ROBINSON, 2014).

Por causa dessas experiências prévias, muitos estudantes possuem suas concepções acerca do mundo e seus fenômenos, mesmo antes de terem contato com o que é ensinado na escola. Essas visões podem ser facilmente mudadas ou, ao contrário, estar fortemente arraigadas e dificilmente serem modificadas. Neste último caso pode ser atribuído o termo *misconception* (NOVAK, 1988), que tem sentido diferente de erro (*mistake*, em inglês), pois não se distancia de forma significativa do que é conceitualmente aceito (SCHMIDT, 1997).

Outro termo que possui significado parecido é *concepção alternativa*. Esta expressão é derivada de *misconception* e seu uso é mais recente. Alguns autores têm interpretações diferentes para concepções alternativas: podem ser entendidas como ideias ou conjunto de ideias que cada indivíduo traz consigo sobre determinado assunto e que não tem correspondência com algum conhecimento científico (ABIMBOLA, 1988; NUSSBAUM, 1981; TABER, 2002a); ou mesmo serem concepções que apresentam uma coerência lógica e se aproximam a um conceito científico (KUIPER, 1994).

Para os conhecimentos em ciências, em especial em Química, esta é uma situação recorrente na qual as concepções alternativas podem ter origem também nos currículos, nos livros, nas diferentes práticas pedagógicas ou em qualquer outro meio

que busque abordar os conhecimentos abstratos que envolvem esta área (GARNETT; GARNETT; HACKLING, 1995).

Levando em consideração os diferentes significados para concepções alternativas, entendemos que, além de serem conceitos prévios inerentes de cada indivíduo e que se distanciam de alguma forma do conhecimento científico, essas distorções têm consequências sérias ao induzir o estudante ao erro conceitual. Geralmente, esses equívocos são oriundos da simplificação ou mesmo a omissão de conceitos com o objetivo de facilitar o entendimento. Entretanto, essa estratégia pode tornar o aprendizado mais complicado, pois será preciso, muitas vezes, desconstruir uma ideia ou concepção prévia.

Portanto, a ideia de concepção alternativa adotada neste trabalho não engloba apenas aqueles conhecimentos prévios e que se aproximam pouco do que é cientificamente aceito; soma-se a isso, todos aqueles conceitos ou ideias que induzirão ao erro conceitual, que seria todo aquele conceito que não se sustenta com o amparo do conhecimento científico.

As concepções alternativas em química vêm sendo foco crescente da pesquisa científica. Em parceria com a *Royal Society of Chemistry*, Kind (2004) redigiu um relatório com as principais pesquisas sobre concepções alternativas de estudantes em 11 áreas da Química. Neste trabalho, são abordados temas químicos como estados e propriedades da matéria, ligações, mudanças de estado físico, reações químicas entre outras. Ao final de cada tópico são resumidas as principais dificuldades relacionadas aos temas e, por fim, são sugeridas algumas atividades (KIND, 2004).

Horton (2007) também listou algumas concepções alternativas encontradas na literatura científica e que, posteriormente, também foram destacadas por professores de nível médio como principais ou importantes. Alguns exemplos são: a matéria é contínua, mas contém partículas; calor pode adicionar massa aos objetos que estão sendo aquecidos; calor é uma sensação; átomos possuem elétrons circundando aos seus redores como planetas no entorno de uma estrela; bolhas originárias de água em ebulição são compostas por ar e gás oxigênio; uma vela queimando é uma reação endotérmica, uma vez que calor é necessário para iniciar a reação; as forças nucleares são como tentáculos; cada uma está atrelada a um elétron (HORTON, 2007).

O livro didático (LD) é considerado como uma fonte confiável de saberes, predominando sobre tecnologias de informação como websites ou vídeos. Os livros assumem variadas funções tais como *referencial* (ao apresentar o programa da disciplina), *instrumental* (ao apresentar metodologias de ensino, exercícios e atividades), *ideológica*, *cultural* e *documental* (ao conter documentos que tem potencial de desenvolver o senso crítico no estudante) (CHOPPIN, 2004). A função referencial é encontrada facilmente nos livros didáticos de ciências, influenciando o currículo das aulas de ciências (ABD-EL-KHALICK; WATERS; LE, 2008).

Por serem as principais fontes de conhecimento, os livros didáticos também podem contribuir para a formação dessas concepções alternativas. Alguns dos problemas dos livros, em especial os de Química, são abreviações e descrições inadequadas de fenômenos, teorias e conceitos; não aprofundar nos conceitos quantitativos ao trabalhar com fórmulas; e apresentar conceitos que ainda não estão suficientemente desenvolvidos (GABEL, 1983; RUIS, 1988).

Contribuindo para isto, muitos docentes baseiam suas práticas nos LDs, seja para espelhar a sequência de abordagem dos conteúdos ou fazer uso das informações ou esquemas presentes nos mesmos. Por isso, os LDs se tornaram peças fundamentais no entendimento da origem de concepções alternativas nos estudantes.

Na Química, um dos conteúdos fundamentais é o estudo das ligações químicas, que é base para outros tópicos como geometria molecular, interações intermoleculares ou mesmo para explicar as propriedades de compostos. A literatura científica mostra que os estudantes têm bastante dificuldade em compreender este conteúdo (JUSTI; GILBERT, 2002; OZMEN, 2004) e que a origem dessas dificuldades está na forma como este conteúdo é ensinado pelos professores ou em como é abordado nos LDs (KRONIK *et al.*, 2008). Neste sentido, como evitar a formação de concepções alternativas em química?

Diante do exposto, acreditamos que a atividade docente é essencial para se evitarem as concepções alternativas nos estudantes de qualquer nível. Por este motivo, o presente trabalho tem por objetivo investigar a literatura científica e livros didáticos de química de nível médio, de modo a traçar um comparativo entre ambos e, por fim, partilhar conclusões, através de uma proposta para se evitar a formação desses equívocos conceituais.

2. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto, o presente trabalho investigou, a princípio, as principais concepções alternativas (ou equívocos conceituais apresentados na) da literatura sobre ligações químicas, em especial, as ligações iônicas. Procuramos, nesta etapa do trabalho elencar as principais fontes de equívocos encontrados na literatura.

Compreendendo que os livros didáticos têm grande importância na formação de estudantes e sua ampla difusão pelo país, buscamos investigar a influência de 5 livros didáticos de Química de nível médio e cujos autores possuem coleções que fazem parte do PNLD 2018, como mostra o quadro 1. O fato das obras serem de autores que já possuem ampla divulgação no cenário nacional foi determinante em nossa escolha.

Quadro1: Livros didáticos investigados.

Livro didático	Autores
LD1	Química (Ciscato, Pereira, Chemello) – Ed. Moderna
LD2	Química Cidadã (Santos, Mol, Dib, Mendonça) – Ed. AJS
LD3	Química (Mortimer, Machado) – Ed. Spicione
LD4	Química Vol. 1 (Martha Reis) – Ed. Ática
LD5	Química Vol. 1 (vários autores) – Ed. SM

À princípio, foram feitas leituras nos LDs buscando investigar a sequência em que o conteúdo de ligações iônicas foi apresentado. Em seguida, os capítulos ou partes dos livros correspondentes a este tema foram analisados, procurando, sobretudo, identificar os principais apontamentos que a literatura científica considera como problemáticos. Diante desta investigação, baseada na literatura científica, propomos sugestões direcionadas aos professores de Química, na tentativa de evitar a propagação de concepções alternativas ou mesmo erros conceituais. Essa proposta que estamos apresentando já vem sendo utilizada em nossa instituição e vem mostrando resultados preliminares muito satisfatórios em aulas de Química Geral de nível Superior. A adequação da proposta ainda será avaliada ao longo de vários semestres para termos uma opinião bem fundamentada sobre sua efetividade.

3. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE LIGAÇÕES QUÍMICAS ENCONTRADAS NA LITERATURA CIENTÍFICA

Encontramos na literatura vasto estudo sobre as concepções alternativas relacionadas ao tópico de ligação química. Alguns destes estudos concentraram-se na investigação das concepções alternativas no ensino de ligações químicas (FERNANDES, 2012; OZMEN, 2004; ÜNAL *et al.*, 2006), principalmente, no nível médio, momento em que há o primeiro contato com tais conceitos. Alguns desses estudos indicaram que o tema de ligações químicas é um tópico problemático para o entendimento de estudantes de nível médio e até mesmo de nível superior (COLL; TREAGUST, 2003).

Por outro lado, muitos desses estudos tiveram foco no entendimento dos estudantes sobre o conteúdo de ligação química. As concepções alternativas mais comuns foram:

- A regra do octeto é comumente usada pelos estudantes para explicar a estabilidade química e é uma espécie de pré-requisito para a formação da ligação química (TABER, 1997);
- A ligação iônica apenas é a transferência de elétrons entre átomos de modo que esses adquiram oito elétrons na camada de valência (TABER, 1997);
- A polaridade de ligações tem relação apenas às ligações covalentes (OZMEN, 2004; ÜNAL *et al.*, 2006);
- Há separação entre ligações iônicas, covalentes e interações intermoleculares (OZMEN, 2004; ÜNAL *et al.*, 2006);
- A ligação iônica ocorre entre um íon de sódio e um cloreto após a transferência de elétrons e é diferente da interação que une o íon de sódio aos outros cinco íons cloreto (ROBINSON, 1998);
- As interações intermoleculares não são entendidas como uma força entre as moléculas, mas como uma força interior das moléculas (TREAGUST, 1988).

Outro equívoco bastante comum está associado à compreensão da formação e da quebra das ligações químicas. Mesmo após terem contato com conceitos de termodinâmica como entalpia, é comum que os estudantes não consigam conectar os conceitos de liberação ou absorção de energia à formação de ligações químicas (BOO, 1998).

Verificamos que alguns trabalhos destacam ainda certos problemas relativos à dificuldade de mudanças de concepções dos estudantes, até mesmo de pós-graduação. Nos níveis iniciais, os estudantes tendem a utilizar artifícios antropomórficos para explicar alguns aspectos relativos às ligações químicas, por exemplo, o fato de um determinado átomo “querer” se estabilizar e, por isso, adquirir um elétron para completar sua camada de valência. Além disso, outros estudos indicam que os estudantes tendem a manter modelos mentais mais simples para ligações químicas, mesmo já tendo tido contato com modelos mais avançados sobre o assunto (COLL; TAYLOR, 2002), o que mostra uma certa resistência à mudança de ideia.

Diante disso, pôde-se verificar que a dificuldade de entendimento e aprendizado do conteúdo de ligações químicas, em especial ligações iônicas, dos estudantes se dá, principalmente, pelo foco excessivo na satisfação da regra do octeto, bem como no foco na formação do par iônico, atendendo à regra do octeto. Por outro lado, a separação explícita dos tipos de ligação em iônica, covalente ou metálica, bem como o foco em um só modelo para explicar todos os compostos iônicos, tem se mostrado um grande problema a ser superado.

A literatura ainda explicita a influência dos LDs na formação de concepções alternativas e que podem estar relacionadas à sequência adotada, que pode ser aquela

usada pelos professores em suas aulas. Além disso, a linguagem dos mesmos ou a explicação inadequada de conceitos importantes para a compreensão do conteúdo de ligações químicas, também pode levar a essas concepções alternativas (BERGQVIST; RUNDGREN, 2017).

4. INVESTIGAÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA

Após a investigação da literatura científica sobre concepções alternativas relacionadas às ligações químicas, foram avaliados os LDs de química de nível médio. Com objetivo de avaliar a apresentação do conteúdo de ligações iônicas, investigamos, primeiramente, a sequência em que este conteúdo é apresentado nos LDs.

O quadro 2 mostra quais foram as sequências de abordagem em que se encontrava o tema de ligações iônicas. Apesar de nosso foco ser o tópico de ligações e compostos iônicos, verificamos para a sequência de abordagem das ligações químicas em geral, tendo em vista que muitas informações importantes para o estudo de ligações iônicas são comuns aos outros tipos de ligações.

Quadro2: Sequência de abordagem de ligações químicas no LDs de Química no PNLD 2018.

Livro	LD1	LD2	LD3	LD4	LD5
Sequência	Gases nobres e estabilidade química; Regra do octeto; Propriedades de compostos; Eletronegatividade; Ligação iônica ; Ligação covalente; Ligação metálica.	Íons; Ligações iônicas ; Regra do octeto; Fórmula dos compostos iônicos; Ligação covalente; Fórmula estrutural; Geometria molecular; Polaridade; Ligação metálica.	Propriedades de materiais; Tipos de ligações químicas; Ligações covalentes; Polaridade; Interações intermoleculares; Ligação iônica ; Propriedades dos compostos iônicos.	Ligação covalente: estabilidade e regra do octeto; Geometria; Polaridade; Interações intermoleculares; Compostos orgânicos: fórmulas estruturais; Ligação iônica .	Modelo do octeto; estabilidade dos gases nobres; Valência; Substâncias iônicas, moleculares e metálicas; Ligação iônica ; Ligação covalente; Ligação metálica.

O conteúdo no quadro 2 foi apresentado da forma em que aparece nos LDs, destacando o tópico de ligação iônica. Com exceção do LD2, os outros LDs apresentam, inicialmente, conceitos como regra do octeto, estabilidade química, estudo da valência de átomos antes de abordar as ligações iônicas. Uma análise preliminar mostra que, mesmo com as diferenças de abordagem do conteúdo de ligações químicas, há tópicos muitos similares como a regra do octeto e a estabilidade dos gases nobres.

5. DISCUSSÃO SOBRE A FORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES IÔNICAS NOS LDs DE QUÍMICA

Baseados nos tópicos que a literatura destaca como os mais problemáticos em relação às concepções alternativas sobre ligações químicas, especialmente, as ligações iônicas, analisamos os capítulos dos LDs sobre este conteúdo. É possível perceber que as concepções relacionadas à formação da ligação iônica estão no centro dessa problemática, principalmente, devido ao uso de regras ou macetes para se memorizarem tendências ou propriedades dos elementos envolvidos na ligação.

Os LD3 e LD5 priorizam, na introdução ao tema de ligações químicas, as características ou propriedades de determinadas substâncias químicas como, por

exemplo, a condução de soluções salinas em água e a não observação de condução do sal em estado sólido. No entanto, ao abordar as ligações iônicas, o LD3 mostra uma sequência parecida com as outras obras, ao falar sobre a formação da ligação iônica ocorrer entre espécies com expressiva diferença de eletronegatividade.

Nesse caso, temos uma situação extrema, em que a diferença de eletronegatividade entre os dois átomos é tão grande que podemos imaginar que os elétrons da ligação se aproximam tanto do átomo mais eletronegativo (cloro) que passam a fazer, praticamente, parte dele” (MORTIMER, 2013, p. 295).

O autor aborda a formação do cloreto de sódio (NaCl) a partir de seus íons Na^+ e Cl^- e, em seguida, apresenta o retículo cristalino do NaCl, em que cada íon estaria cercado por outros seis íons de carga oposta. Outra obra em que é possível encontrar uma abordagem parecida é o LD1.

Neste livro, a formação da ligação iônica é apresentada iniciando o conteúdo com a estabilidade dos gases nobres e suas valências e, para isso, utiliza-se da regra do octeto.

Perceba que após a transferência de um elétron do sódio para o cloro, a distribuição eletrônica do íon Na^+ fica igual à do gás nobre neônio (Ne), e a distribuição eletrônica do ânion Cl^- fica igual à do gás nobre argônio (Ar). Assim, tanto o sódio quanto o cloro ficam com oito elétrons na última camada – satisfazendo a regra do octeto. (CISCATO; PEREIRA; CHEMELLO, 2015, p. 119).

Essa regra é comumente utilizada para justificar a transferência de elétrons ou mesmo o compartilhamento, no caso das ligações covalentes, fazendo com que os átomos formassem espécies estáveis. Por este raciocínio, a busca por estabilidade seria a razão para os átomos de Na transferir elétrons para os átomos de Cl. Seria uma transferência devido ao fato de a diferença de eletronegatividade entre esses átomos ser maior que 2.

O conteúdo de ligação iônica é apresentado de forma levemente distinta no LD2, em comparação ao LD1, uma vez que a formação da ligação iônica não é apresentada através da distribuição eletrônica dos átomos. Apesar de, novamente, se verificar o NaCl ser utilizado como exemplo de substância iônica, a explicação gira em torno da aproximação dos átomos neutros e busca introduzir, ainda que de forma sucinta, que esta aproximação se dá através de forças de atração entre eles. A partir daí, a abordagem se torna parecida com os outros LDs, em que ocorre a transferência do elétron do Na para o Cl e a atração dos íons de sódio e cloreto para explicar a formação do composto iônico.

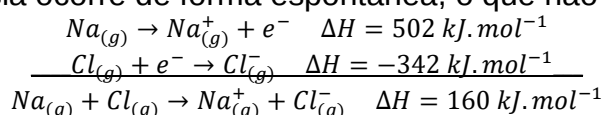
A sequência de apresentação do conteúdo no LD4 se inicia pela apresentação da eletronegatividade, ao mostrar um esquema correlacionando metais e ametais a essa propriedade. Posteriormente, essa informação é conjugada à absorção e liberação de energia por parte dos metais e ametais, respectivamente. Neste caso, o autor claramente procura apresentar dados das trocas de energia que envolvem a formação de um composto iônico, mostrando que a estabilidade do $\text{NaCl}_{(s)}$ é atribuída à grande liberação de energia através da reação entre $\text{Cl}_{2(g)}$ e $\text{Na}_{(s)}$. Há aqui uma simplificação por parte do autor, tendo em vista que a reação entre essas duas espécies só ocorre quando há a presença de água.

Por fim, o LD5 não apresenta uma sequência no capítulo de ligações químicas para explicar a formação das ligações iônicas. Apenas aborda as propriedades das

substâncias iônicas, ocorrência, apresentação do retículo cristalino, formulação e nomenclatura delas. Esta é uma abordagem que pode ser mais conveniente ao nível médio por ser mais simples, em detrimento de uma abordagem que busque explicar a formação de compostos iônicos e acabe por distorcer a explicação dos modelos e decorrer daí a formação de concepções alternativas.

De maneira geral, constatou-se que o conteúdo das ligações iônicas nas obras didáticas é centrado em explicar a formação dos compostos iônicos, especialmente, aqueles semelhantes ao NaCl. Para isso, utiliza-se da conhecida estabilidade do retículo cristalino do NaCl e que os átomos dos elementos que o formam, sódio e cloro, um metal e um ametal, adequam-se exatamente à diferença de eletronegatividade e a regra do octeto. No primeiro caso, a significativa diferença de eletronegatividade, e que muitas vezes é apresentada de forma numérica, justificaria a transferência do elétron do átomo do metal para o átomo do ametal. Essa transferência obedeceria a regra do octeto, ou seja, seriam transferidos a quantidade de elétrons até que se completasse oito elétrons na camada de valência nos átomos do metal e ametal.

No nosso entendimento, essa abordagem se mostra problemática, pois afirma que a esta transferência ocorre de forma espontânea, o que não é correto.



Portanto, é possível verificar que este tratamento da formação dos compostos iônicos não se sustenta. Além disso, a afirmação de que o sódio metálico reage com o gás cloro é também equivocada, tendo em vista que não reagem espontaneamente.

6. CONSTRUÇÃO DE UMA PROPOSTA AOS PROFESSORES DE QUÍMICA

Os LDs se mostraram bastante problemáticos no que a literatura aponta como possíveis focos de concepções alternativas. No entanto, apesar da indiscutível importância do livro didático como ferramenta do aprendizado de um estudante, o professor tem ainda um papel fundamental em suas formações e será aquele fará a ponte entre o estudante e o conhecimento e apresentar suas devidas adequações.

Argumenta-se na literatura científica que se os estudantes fossem alertados sobre os equívocos como a confusão e a desinformação acerca da formação e quebra das ligações químicas, essas e outras concepções alternativas seriam extensivamente evitadas (GALLEY, 2004). Contudo, é evidente que somente fazer um alerta não é suficiente; os estudantes continuarão buscando fazer conexões mais simples com o conteúdo e, provavelmente, criando suas concepções alternativas. Por isso, é imprescindível fornecer aos professores recursos ou orientações mais claras acerca das concepções alternativas, principalmente, daquelas que podem surgir dos livros didáticos.

Pela análise dos LDs, verificamos que a abordagem do tópico da formação das ligações iônicas precisa ser melhorada. Na realidade, ao invés de se buscar explicar a formação desses compostos, seria melhor uma abordagem que priorizasse interpretá-los. Contudo, sabe-se que existem uma série de compostos iônicos, desde os mais simples, que contam apenas com cátions e ânions monoatômicos, até mais complexos como, por exemplo, cadeias de surfactantes catiônicos ou aniônicos. À medida que a composição dos compostos iônicos se torna mais complexa, o mesmo acontece com o modelo para explicá-lo. Qual seria então a melhor alternativa para se explicar esses compostos, em particular, no nível médio?

Acreditamos que para este nível, a melhor alternativa seria apresentar o modelo mais simples para os compostos iônicos, utilizando um exemplo do cotidiano do aluno, que é o caso do NaCl. Neste momento, não temos que nos preocupar com a origem do composto ou como ele se formou. Temos que considerar apenas que ele existe da maneira como a natureza nos forneceu, ou seja, como um sistema organizado constituído por íons positivos e negativos intercalados e que apresenta as características que o nosso dia a dia nos ensinou.

Da nossa experiência cotidiana, sabemos que o sal de cozinha, NaCl, é muito duro, pois qualquer um de nós já teve o infortúnio de mastigar sal grosso, ao mesmo tempo em que sabemos que ele é frágil, pois ao invés de entortar, ele se rompe mediante um esforço mecânico em sua superfície. Da mesma forma, sabemos que ele apresenta ponto de fusão muito elevado, pois em muitas oportunidades já tivemos que “secar” o sal colocando-o em um recipiente aberto e levando-o ao fogo. Sabemos também que ele é muito solúvel em água, pois todos nós já fomos à praia e provamos a água do mar.

Estas e outras características podem ser o ponto de partida para se discutir os compostos iônicos. Temos que partir daquilo que conhecemos, ou seja, do macro, para tentarmos justificar tudo isso que conhecemos através de um modelo simples e imaginável para os alunos do nível médio. Essa explicação, jamais deverá passar pela transferência de elétrons, pois ninguém pode afirmar que o sal se formou desta maneira.

Por outro lado, a única coisa que temos certeza é da organização existente no retículo cristalino do sal e é disso que temos que partir; é o retículo cristalino que justifica a existência do sal de cozinha e todas as suas características ou propriedades e utilização.

Ao se questionar os estudantes sobre as características do sal de cozinha, muitos citarão a cor branca, o gosto salgado, a solubilidade em água e é possível que citem as propriedades físicas que estão nos livros didáticos como os altos pontos de fusão, a dureza e a fragilidade. Estas citações dos alunos são uma consequência direta de suas vivências e, provavelmente, de alguma leitura prévia. Neste ponto, o professor deve desempenhar o seu papel de mediador e tentar relacionar as observações dos alunos a algum modelo e esse modelo, obviamente, não passa pela transferência de elétrons.

No modelo de cargas opostas intercaladas, os íons guardam entre si um compromisso muito sério de organização, constituindo um retículo cristalino onde cada íon é rodeado por um conjunto de íons de cargas opostas, separados por uma distância que reflete o melhor compromisso entre atração e repulsão. Finalmente, cada um destes íons, seja ele positivo ou negativo, não é afetado pela vizinhança e preserva, no retículo cristalino, as mesmas características que apresentava na ausência dos íons de carga oposta. Em outras palavras, nenhum desses íons presentes no retículo cristalino sofre qualquer perturbação decorrente da aproximação de um conjunto de íons de carga oposta e poderia assim, em princípio, ser associado a uma esfera rígida.

A literatura reporta que um dos grandes empecilhos para o aprendizado do conteúdo de ligações químicas é o aprendizado de modelos; os estudantes não conseguem sequer entender o que são modelos e, portanto, não compreendem o que são os modelos em ligações químicas ou qualquer outro conteúdo de química (JUSTI e GILBERT, 2002). Logo, é imprescindível nesta etapa inicial introduzir o que são modelos; fazer com que os estudantes compreendam o que são eles e correlacionar isto ao conteúdo de ligações químicas.

No caso das ligações iônicas, uma boa compreensão do que são os modelos e a indicação do professor de qual modelo está usando também evita a distorção de conceito encontrada nos livros didáticos, de que todos os compostos iônicos têm comportamentos e propriedades parecidas. Exemplo disso são compostos como NaCl e CaCO_3 , que são compostos iônicos, mas que não seguem o mesmo modelo devido aos seus ânions terem naturezas distintas e o retículo cristalino deles serem completamente diferentes.

Apenas para exemplificar como as diferenças entre os retículos cristalinos e a natureza dos íons envolvidos afeta diretamente as propriedades dos diferentes compostos iônicos, vamos considerar o CaCO_3 .

Este composto é descrito na literatura como um composto lamelar, que não apresenta íons de cargas opostas alternados e, muito menos, o seu ânion é derivado de apenas um átomo. Desta maneira suas propriedades são muito diferentes daquelas dos compostos iônicos semelhantes ao sal de cozinha e, portanto, a comparação entre eles se constitui em um erro conceitual muito grave, a ponto de muitos autores considerá-lo exceção a alguma regra muito restrita ou limitada.

Isto vale também para retículos cristalinos constituídos por fosfatos (PO_4^{3-}), sulfatos (SO_4^{2-}), e tantos outros ânions poliatômicos. Por esse motivo, é imprescindível que o professor deixe claro com qual modelo fará a interpretação desses compostos iônicos e quais são suas restrições. O que um professor não atento a estas considerações responderia se um aluno perguntasse se o ânion CO_3^{2-} se formou a partir da espécie neutra CO_3 ? Através da aquisição de dois elétrons?

Da experiência adquirida até o presente, observamos que essa maneira de apresentar os compostos iônicos, partindo-se daquilo que conhecemos ou vivenciamos e tentando relacionar esse conhecimento prévio a algum modelo científico, tem-se mostrado muito eficiente. O que justifica as características vivenciadas pelos alunos não é a transferência de elétrons e muito menos a regra do octeto, como aparece nos livros didáticos. Muito pelo contrário, não deveria ser uma estratégia prioritária entender como os íons foram formados e, principalmente, quando os argumentos para tal não se sustentam. A natureza nos forneceu os compostos já prontos e com essas características, cabe a nós, então, buscar interpretá-los. O importante é conduzir uma aula sobre esse assunto tentando relacionar as propriedades ou características dos compostos iônicos com alguma coisa que exista e tenha significado físico para os alunos. Nesse caso, o retículo cristalino será a grande arma ou argumento de que o professor dispõe para conduzir toda a sua discussão.

Procedendo dessa maneira, evita-se qualquer distorção ou erro conceitual como aqueles descritos e que aparecem em todos os livros didáticos. Obviamente, existem explicações para tudo isso que se encontra descrito nos livros didáticos e que representam distorções conceituais. O professor bem preparado deve conhecê-las e saber argumentar para evitá-las, sem, entretanto, entrar em conflito com a literatura.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, foi possível constatar que os livros didáticos apresentavam uma sequência bem problemática para esse assunto, sobretudo, com relação à transferência de elétrons. Ainda é notável que algumas mudanças nas abordagens dos conteúdos, principalmente nas ligações químicas, são necessárias, de modo que se evitem mais ainda esses equívocos conceituais.

É compreensível que nos estágios iniciais de aprendizado, em que os estudantes têm seu primeiro contato com um conteúdo abstrato, como ligações

químicas, que se faça uso de modelos e artifícios mais simplificados para se introduzirem tais tópicos. No entanto, pensamos que essas estratégias deveriam evitar caminhos que induzam aos erros conceituais e, portanto, estas abordagens deveriam e podem ser melhoradas, de modo a não comprometer o aprendizado de tais conceitos.

A presente proposta, que vem sendo utilizada em uma disciplina de Química Geral em nossa instituição, será avaliada futuramente junto a futuros professores de cursos de licenciatura.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-EL-KHALICK, F.; WATERS, M.; LE, A. P. Representations of nature of science in high School chemistry textbooks over the past four decades. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 45, n. 7, p. 835–855, 2008.

ABIMBOLA, I. O. The Problem of Terminology in the Study of Student Conceptions in Science. **Science Education**, v. 72, n. 2, p. 175–184, 1988.

BERGQVIST, A.; RUNDGREN, S. C. The influence of textbooks on teachers' knowledge of chemical bonding representations relative to students' difficulties understanding. **Research in Science & Technological Education**, v. 5143, p. 215–237, 2017.

BOO, H. K. Students' Understandings of Chemical Bonds and the Energetics of Chemical Reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, n. 5, p. 569–581, 1998.

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.

CISCATO, C. A. M.; PEREIRA, L. F.; CHEMELLO, E. Química 1: Química Geral. 1ª ed. São Paulo: Ed. Moderna, 2015.

COLL, R. K.; TAYLOR, N. Mental Models in Chemistry: Senior Chemistry Students' Mental Models of Chemical Bonding. **Chem. Educ. Res. Pract.**, v. 3, n. 2, p. 175–184, 2002.

COLL, R. K.; TREAGUST, D. F. Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 5, p. 464–486, 2003.

DRIVER, A. R.; SQUIRES, P. R.; WOOD-ROBINSON, V. **Making Sense of Secondary Science**. Classic ed. New York: Routledge, 2014.

FERNANDES, S. Pesquisas em periódicos nacionais e internacionais sobre o ensino e aprendizagem de ligação química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p. 153–172, 2012.

FONSECA, M. R. M. Química. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2013.

GABEL, D. L. What high school chemistry texts do well and what they do poorly. **Journal of Chemical Education**, v. 60, n. 10, 1983.

GARNETT, PAMELA J.; GARNETT, PATRICK J.; HACKLING, M. W. Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. **Studies in Science Education**, v. 25, p. 69–96, 1995.

HORTON, C. Student Alternative Conceptions in Chemistry. **California Science of Education**, v. VII, n. 2, 2007.

JUSTI, R.; GILBERT, J. History and philosophy of science through models: Some challenges in the case of 'the atom.' **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, p. 993–1009, 2000.

KIND, V. **Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas**. Disponível em: <<https://edu.rsc.org/resources/beyond-appearances/2202.article>>. Acesso em 19 de nov. de 2019.

KRONIK, L. *et al.* A New "Bottom-Up" Framework for Teaching Chemical Bonding. **Journal of Chemical Education**, v. 85, n. 12, 2008.

KUIPER, J. Student ideas of science concepts: alternative frameworks? **International Journal of Science Education**, v. 16, n. 3, p. 279–292, 1994.

LIDE, D. R. Section 10: Atomic, Molecular and Optical Physics. In: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 85. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. Cap. 10, p. 10-82. Disponível em: <<http://hbcponline.com/faces/contents/ContentsSearch.xhtml>>. Acesso em: Novembro 2019.

LISBOA, J. C. F. *et al.* Química 1. 2ª ed. São Paulo: Edições SM, 2014.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. Química: ensino médio. 2ª ed. São Paulo: Spicione, 2013.

NICOLL, G. A report of undergraduates' bonding misconceptions. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 7, p. 707–730, 2001.

NOVAK, J. D. Learning Science and the Science of Learning. **Studies in Science Education**, v. 15, n. 1, p. 77–101, 1988.

NUSSBAUM, J. Towards the Diagnosis by Science Teachers of Pupils' Misconceptions: an Exercise with Student Teachers. **European Journal of Science Education**, v. 3, n. 2, p. 159–169, 1981.

OZMEN, H. Some Student Misconceptions in Chemistry: **Journal of Science Education and Technology**, v. 13, n. 2, p. 147–159, 2004.

ROBINSON, W. R. An Alternative Framework for Chemical Bonding. **Journal of Chemical Education**, v. 75, n. 9, 1 set. 1998.

RUIS, S. P. Something's wrong with chemistry textbooks. **Journal of Chemical Education**, v. 65, n. 8, 1 ago. 1988.

SANTOS, W. L. P.; MOL, G. S. *et al.* Química Cidadã: vol. 1. 2ª ed. São Paulo: Ed. AJS, 2013.

SCHMIDT, H. J. Students' misconceptions - Looking for a pattern. **Science Education**, v. 81, n. 2, p. 123–135, 1997.

TABER, K. Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework? **School science review**, v. 78, n. 285, p. 85–95, 1997.

TABER, K. **Chemical misconceptions - prevention, diagnosis and cure. Volume I: theoretical background**. 1. ed. London: Royal Society of Chemistry, 2002.

TABER, K. S. An alternative conceptual framework from chemistry education. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 5, p. 597–608, jun. 1998.

TREAGUST, D. F. Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. **International Journal of Science Education**, v. 10, n. 2, p. 159–169, 1988.

ÜNAL, S. *et al.* A review of chemical bonding studies: Needs, aims, methods of exploring students' conceptions, general knowledge claims and students' alternative conceptions. **Research in Science and Technological Education**, 2006.