



Pesquisas em periódicos nacionais e internacionais sobre o ensino e aprendizagem de ligação química

Researches in national and international newspapers about teaching and learning of chemical bonding

Lucas dos Santos Fernandes

Mestrando do PPG Ensino de Ciências
Universidade Federal Rural de Pernambuco
luckfernandez@hotmail.com

Angela Fernandes Campos

Departamento de Química
Universidade Federal Rural de Pernambuco
afernandescampos@gmail.com

Resumo

O presente estudo procurou identificar o cenário atual das pesquisas que retratam o ensino e aprendizagem de ligação química. Revistas nacionais e internacionais foram escolhidas para análise. Os resultados mostraram uma tendência predominante na análise das concepções alternativas dos estudantes sobre ligação química. Além disso, vários autores apontaram diversas justificativas para essas concepções que envolveram questões relacionadas ao professor, aos livros-texto de química e a necessidade de elaboração de estratégias didáticas inovadoras e materiais alternativos para melhorar o entendimento de ligação química.

Palavras-chave: Periódicos nacionais e internacionais; ensino-aprendizagem; ligação química.

Abstract

The present study tried to identify the current scenery of the researches about the teaching and learning of chemical bonding. National and international articles were chosen for analysis. The results showed a predominant tendency in the analysis of the

students' alternative about chemical bonding. Besides, several authors indicated reasons for these conceptions involved questions related to the teacher, to the book-text chemistry and the lack of elaboration of innovative didactic strategies and alternative materials for a better understanding of chemical bonding.

Key-words: Nationals and internationals periodics; teaching and learning; chemical bonding.

Introdução

A química é uma ciência considerada difícil por estudantes, professores e pesquisadores. Özmen (2004) aponta duas razões para isso: a primeira delas está no fato de que a maioria dos conceitos químicos exige alto nível de abstração; a segunda razão diz respeito à polissemia apresentada por alguns conceitos químicos, isto é, alguns conceitos apresentam diferentes significados de acordo com o contexto em que são utilizados. Por exemplo, atualmente, elemento químico é definido como um tipo de átomo, mas a palavra elemento possui diferentes significados no cotidiano: sinônimo de algo, coisa (*Elementos que compõem uma refeição: feijão, arroz, verdura, etc.; Isso é um elemento a mais que temos que levar em consideração.*) ou até como caracterização de uma pessoa (*aquele homem é um mau elemento*). O mesmo ocorre com diversos conceitos que são importantes para a compreensão de ligação química. Somando-se a isso a química ainda possui uma linguagem própria, específica, sendo fundamental conhecê-la. Outro aspecto que alguns autores (JOHNSTONE, 1992; TSAPARLIS, 1997) comentam em relação à dificuldade de aprendizagem da química, é que são necessários os três níveis do conhecimento químico: teórico (microscópico), fenomenológico (macroscópico) e representacional para uma aprendizagem significativa. Estudos (ÖZMEN, 2004) mostram que muitos estudantes apresentam dificuldades no entendimento das relações entre esses três níveis, particularmente se os conceitos envolvidos são tão abstratos, como é o caso de ligação química.

Ligação química é considerado um dos temas mais importantes da química sendo essencial para o entendimento de diversos assuntos, tais como: estruturas moleculares, reações químicas, equilíbrio químico e termodinâmica (TOMA, 1997; ÖZMEN, 2004; FRANCO; RUIZ, 2006). De acordo com Toma (1997), a aprendizagem de ligação química é fundamental, pois contribui sobremaneira para a compreensão das transformações que ocorrem em nosso mundo. Devido à complexidade inerente a essa temática, faz-se necessário que os alunos tenham ideias prévias relevantes sobre átomos, moléculas, íons, elétrons, elemento químico, polaridade, eletronegatividade, forças intermoleculares, além de grande capacidade de abstração. Tal situação tem contribuído para a geração de concepções alternativas nos estudantes em diferentes níveis de ensino, sendo um desafio atual para o ensino e aprendizagem de ligação química. As concepções alternativas são consideradas interpretações equivocadas dos estudantes que estão em desacordo com os padrões aceitos atualmente pela comunidade científica (BOO, 1998). Pozo et al. (1991) as classifica em três tipos segundo a sua origem: espontânea, transmitida ou induzida e analógica. As de origem espontânea são formadas devido ao senso comum e às experiências cotidianas dos alunos, baseadas principalmente na percepção dos fenômenos. As transmitidas ou induzidas são adquiridas pelos meios culturais e sociais dos estudantes antes da

instrução formal da escola. Por sua vez, as de origem analógica surgem devido às analogias criadas pelos estudantes ou pelos professores durante a abordagem dos conceitos científicos. Segundo Driver (1988), as concepções alternativas são bastante estáveis, resistentes à mudança e muitas vezes persistem, apesar de vários anos de ensino formal. Tal consideração tem despertado, desde a década de 1980, um maior interesse dos educadores sobre as concepções alternativas no processo de ensino e aprendizagem de conceitos químicos, pois o conhecimento dessas concepções pelo professor proporciona condições para o desenvolvimento de atividades diferenciadas em sala de aula no sentido de promover a evolução conceitual dos estudantes em direção às idéias consensuais da comunidade científica.

Pelo exposto e considerando a importância do tema ligação química esta investigação possui as seguintes questões de pesquisa: (i)- há estudos em periódicos nacionais e internacionais sobre as concepções alternativas dos alunos e discussões sobre a origem dessas concepções? (ii)- nos periódicos analisados existem mudanças quantitativas e/ou qualitativas quanto ao tipo de conteúdo, base teórica e metodologia de pesquisa? (iii)- Que outros aspectos do ensino e aprendizagem de ligação química são abordados nesses estudos?

Metodologia

A coleta de dados envolveu uma pesquisa bibliográfica nacional e internacional com a finalidade de obter informações esclarecedoras e consistentes sobre o ensino e aprendizagem de ligação química. As fontes bibliográficas investigadas abrangeram as principais revistas sobre Ensino de Ciências veiculadas nacionalmente com seus números disponibilizados na internet. Foram analisados os seguintes periódicos: Química Nova, Química Nova na Escola, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Química no Brasil, Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências, Investigações em Ensino de Ciências, Ciência & Educação e Revista Brasileira de Ensino de Química. O quadro 1 mostra a relação das revistas nacionais que apresentaram artigos publicados sobre o ensino e aprendizagem de ligação química, o período e números analisados.

Quadro 1. Artigos científicos identificados nas revistas científicas nacionais.

| Periódico (período analisado) | Artigos sobre o ensino e aprendizagem de ligação química | Números analisados |
|--|---|---------------------------|
| Química Nova (1978 – 2009) | 2 | 185 |
| Química Nova na Escola (1995 – 2009) | 2 | 42 |
| Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (2001 – 2009) | 1 | 25 |
| Química no Brasil (2007- 2009) | 1 | 4 |

A pesquisa internacional foi realizada diretamente no site nos periódicos que possuem página na internet para busca: Science Education, Journal of Chemical Education, Enseñanza de las Ciencias, Education in Chemistry, Chemistry Education: Research and Practice in Europe e Educació Química. Em outros periódicos, os artigos foram identificados e coletados pelo Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e por meio de sites de base de dados que dispunham a bibliografia dessas revistas: Journal of Research in Science Teaching, Science Education, Research in Science Education, Journal of Science Education and

Technology, International journal of Science Education e Research in Science & Technological Education. Nas situações em que os periódicos não possuíam uma página para navegação e busca de artigos, a pesquisa foi realizada em sites de buscas da internet: Computers & Education, Australian Science teachers' Journal e Journal of Turkish Science Education.

Cada artigo foi lido e examinado utilizando categorias de análise baseadas nos trabalhos de Costa e Moreira (1996; 1997a; 1997b; 1997c): (i) - base teórica; (ii) - metodologia/sujeitos da pesquisa; (iii) - conteúdo abordado; (iv) - resultados obtidos/conclusões. Todo o processo de leitura, sistematização e análise dos resultados teve a duração de seis meses. Em relação aos critérios adotados na análise dos artigos: no que se refere à base teórica, foi identificada a teoria de aprendizagem assumida pelo(s) autor(es) ao longo da investigação realizada; em relação à metodologia/sujeitos da pesquisa, foram considerados: os instrumentos de coleta de dados (questionário, entrevista, gravação de áudio e vídeo, etc.), a abordagem qualitativa e/ou quantitativa e o nível de ensino dos sujeitos da pesquisa (fundamental, médio, superior, etc.); em termos de conteúdo, procurou-se identificar o tema central da investigação; no que diz respeito aos resultados obtidos/conclusões, procurou-se apresentar os principais resultados e conclusões dos estudos analisados. Para facilitar a análise dos artigos, os seus principais dados foram organizados nos quadros 2 e 3 (apêndice).

Resultados e Discussão

A pesquisa bibliográfica nacional (quadros 2 e 3, apêndice) sobre o ensino e aprendizagem de ligação química revelou que existem poucos artigos (06) que retratam essa temática. Apesar do número reduzido, observou-se uma diversidade nas pesquisas apresentadas: levantamento das concepções alternativas dos estudantes, principais erros e dificuldades apresentadas pelos alunos referentes ao conceito de ligação química, sugestão e elaboração de recursos didáticos (hipermídia) no sentido de facilitar o entendimento dessa temática, análise de modelos de ensino, em particular, analogias e análise de livros-texto de química.

Diferentemente da pesquisa nacional, a pesquisa bibliográfica internacional (quadros 2 e 3, apêndice) apresentou um grande número de trabalhos científicos (37). Observou-se uma tendência predominante na análise das concepções alternativas dos alunos, modelos mentais dos estudantes e ensino por analogias. No entanto, poucos artigos sobre estratégias didáticas inovadoras, orientadas por pesquisa, para a abordagem de ligação química foram identificados.

As concepções alternativas foram o foco de 17 investigações internacionais pesquisadas. Estudos sobre concepções alternativas foram identificados em artigos com uma diferença temporal de aproximadamente 20 anos (PETERSON; TREGUST; 1989; ÖZMEN, 2008). Além disso, tornou-se evidente em alguns estudos que as concepções alternativas estão presentes em todos os níveis de ensino (fundamental, médio, superior e até em alunos de pós-graduação) (COLL; TAYLOR, 2001). Para uma melhor ilustração e discussão dessas concepções alternativas, algumas delas serão

expostas a seguir, separadas por tipo de ligação química, apenas para facilitar a análise.

Concepções alternativas sobre a ligação iônica:

- (i) - Átomos de um mesmo elemento se unem por ligação iônica; a ligação iônica é mais forte que a covalente (RIBOLDI; PLIEGO; ODETTI, 2004).
- (ii) - Apenas ligações iônicas fracas são quebradas durante o processo de dissolução (BOO, 1998).
- (iii) - Compostos iônicos possuem elétrons livres quando dissolvidos em água, mas não no estado sólido (OTHMAN; TREAGUST; CHANDRASEGARAN, 2007).
- (iv) - A condutividade elétrica de um sal dissolvido em água é determinada pelo metal presente no sal (COSTA; OLIVEIRA; ALVES, 2008).
- (v) - A configuração eletrônica determina o número de ligações iônicas formadas; A ligação iônica é formada apenas entre os átomos que doam ou recebem os elétrons (TABER, 1994).
- (vi) - A razão da transferência de elétrons em uma ligação iônica é a obtenção de uma camada completa (ROBINSON, 1998).

As concepções alternativas apresentadas pelos estudantes nos itens (i), (iii), (iv) e (v) mostram que os alunos têm dificuldades em identificar o que está presente na estrutura de um composto iônico. O item (i) se refere a átomos e o item (iii) a elétrons, enquanto que uma ligação iônica é resultante da atração entre íons de cargas opostas e sua força depende do tamanho dos íons e de sua separação. Além disso, atribui-se que a ligação iônica é mais forte que a ligação covalente, o que nem sempre é verdade. Por exemplo, o diamante, formado por átomos de carbono que se ligam covalentemente numa estrutura cúbica de face centrada (CCC), apresenta dureza elevada demonstrando a força das ligações que existem na estrutura dessa substância. A concepção alternativa do item (iv) relaciona o processo de dissolução à força da ligação e não à questão energética ($\Delta H_{\text{coesão}}$ versus $\Delta H_{\text{hidratação}}$) que está envolvida nesse processo. Alguns estudantes acreditam que compostos iônicos são formados por moléculas discretas como acontece em muitos compostos covalentes e, por isso, veem a ligação iônica como unidirecional e sujeita às mesmas regras de comportamento das ligações covalentes. No item (vi) a formação da ligação iônica é vista como uma necessidade de atender à regra do octeto (camada completa). Nesse ponto, utilizando o cloreto de sódio como ilustração (NaCl), uma discussão pertinente em sala de aula seria considerar que o elétron de valência do sódio é influenciado pela carga do núcleo do cloro, que é muito maior do que a do sódio, dando origem a uma força resultante causadora da transferência eletrônica e não à “tendência” ou “necessidade” dos átomos de sódio e cloro de atingir a configuração eletrônica de um gás nobre.

Concepções alternativas sobre a ligação covalente:

- (i) Os pares eletrônicos são distribuídos de forma igualitária em todas as ligações covalentes; Moléculas apolares se formam quando seus átomos possuem eletronegatividades similares; A forma das moléculas é influenciada apenas pelas repulsões entre os pares de elétrons que não estão envolvidos nas ligações (PETERSON; TREAGUST, 1989; BIRK; KURTZ, 1999; ÖZMEN, 2008).

(ii) Uma molécula é polar porque possui ligações polares (BIRK; KURTZ, 1999; ÖZMEN, 2008).

(iii) Uma ligação covalente ocorre entre metais e gases nobres (ÖZMEN; DEMIRCIÖGLU; DEMIRCIÖGLU, 2009).

(iv) Em uma ligação covalente o par de elétrons fica parado entre os dois núcleos; Em uma ligação covalente os elétrons compartilhados se movimentam conforme a figura do número 8 (NICOLL, 2001).

(v) Uma ligação covalente é formada pelo resultado do compartilhamento dos elétrons de valência de elementos metálicos e não-metálicos; Uma ligação covalente é formada entre um ametal e íons (ACAR; TARHAN, 2008).

As concepções dos estudantes apresentadas em (i) mostram: a ausência da ideia de polaridade da ligação, uma vez que se considera que o par de elétrons é igualmente distribuído em todas as ligações covalentes; o fato da molécula ser apolar não significa que necessariamente contenha apenas ligações covalentes apolares. Por exemplo, substâncias como hidreto de berílio (BeH_2) e dióxido de carbono (CO_2) são apolares e, no entanto, suas ligações covalentes são polares. O que define nesses casos a não-polaridade dessas substâncias é a geometria linear apresentada. A consideração de que a forma da molécula deve-se apenas às repulsões entre os pares de elétrons que não participam da ligação demonstra a incompreensão dos estudantes da Teoria da Repulsão dos Pares Eletrônicos da Camada de Valência (RPECV). Segundo essa teoria, as interações repulsivas entre os pares de elétrons compartilhados, pares de elétrons não compartilhados, pares de elétrons compartilhados e pares de elétrons não compartilhados e os ângulos dessas repulsões são fundamentais na determinação da geometria da espécie química. Nos itens (iii) e (v), os estudantes utilizam como critério de definição de uma ligação covalente os tipos de elementos químicos que se ligam e de forma errada. A ideia da diferença de eletronegatividade entre os átomos não é levada em consideração nesses casos, nem nos itens em que os alunos se reportam à polaridade da ligação. No item (iv), o estudante associa equivocadamente o movimento do elétron com a forma de um orbital do tipo p.

Concepções alternativas sobre a ligação metálica:

(i) A ligação metálica não é uma ligação real, pois não envolve o compartilhamento de elétrons (BOO, 1998; ÖZMEN; DEMIRCIÖGLU; DEMIRCIÖGLU, 2009).

(ii) Sólidos metálicos são de natureza molecular; As ligações em metais envolvem forças intermoleculares; As cargas positivas em compostos metálicos são núcleos e não íons (COLL; TAYLOR, 2001).

(iii) Os metais possuem altos pontos de fusão e ebulição porque possuem características iônicas; A ligação metálica ocorre com o compartilhamento de elétrons e é parecida com a ligação iônica; Em metais maleáveis as ligações são fracas (ACAR e TARHAN, 2008).

(iv) Um átomo alumínio se liga a outro átomo alumínio através do compartilhamento de elétrons obedecendo à regra do octeto (COLL; TREAGUST, 2003b).

Nos itens (i) e (iv), os alunos confundem a ligação metálica com a ligação covalente. Além disso, só consideram ligação química a situação em que há compartilhamento de elétrons. O item (ii) revela a dificuldade dos estudantes sobre o que seria uma ligação metálica, ou seja, a interação eletrostática envolvendo cátions e elétrons, segundo a teoria de Lorentz (TOMA, 1997). No item (iii), atribui-se equivocadamente altos pontos de fusão e ebulição apenas aos compostos iônicos.

Pelo exposto, fica claro que os estudantes: associam ligações fortes apenas aos compostos iônicos; não conseguem estabelecer relações coerentes entre polaridade da ligação, moléculas polares e apolares e geometria molecular; não relacionam satisfatoriamente os três níveis do conhecimento químico, representacional, macroscópico e microscópico; associam a formação de ligações à obtenção de uma camada completa (regra do octeto).

Algumas justificativas para as concepções alternativas apresentadas pelos estudantes

Ao mesmo tempo em que vários autores apontam as ideias equivocadas dos estudantes referentes à ligação química, eles também tentam inferir sobre as possíveis razões para a manifestação dessas ideias.

Segundo Franco e Ruiz (2006), as concepções alternativas dos estudantes sobre ligação química, em geral, não se formam fora da sala de aula, dado o nível de abstração deste conceito e também porque as experiências dos estudantes com a ligação química são muito indiretas, de modo que se pode atribuir as concepções alternativas dos estudantes à forma pela qual o tema é abordado em sala de aula, aos materiais didáticos que são utilizados e, sobretudo, às representações que os estudantes constroem sobre este conceito.

De acordo com Taber (1994), as concepções alternativas sobre ligação iônica apresentadas pelos estudantes baseiam-se em três conjecturas: a primeira delas é a conjectura de valência, que postula que o número de elétrons de valência que um átomo possui determina o número de ligações iônicas que podem ser formadas; a segunda é a conjectura histórica, que define que a ligação iônica só é formada entre os átomos que doam e aceitam os elétrons; a terceira é a conjectura de apenas “forças”, um íon só interage com apenas um outro íon de carga oposta e que a interação com os outros íons da rede cristalina ocorre através de “forças” as quais os alunos não conseguem definir a natureza (eletrostática, eletromagnética, gravitacional, etc.).

Nicoll (2001) comenta que os professores devem enfatizar na abordagem de ligação química os três níveis do conhecimento químico, representacional, microscópico e macroscópico a fim de que os estudantes desenvolvam seus próprios modelos mentais de ligação levando em conta esses três níveis de conhecimento.

Solbes e Vilches (1991) afirmam que nos livros-texto de química, os modelos são apresentados como uma descrição completa da realidade ignorando que se tratam de aproximações simples com limitações. De Posada (1999) explicita que há um exagero de metáforas e analogias nos livros-texto que podem contribuir para gerar concepções alternativas nos alunos. Além disso, Carvalho e Justi (2005) constataram em uma investigação que a grande maioria dos alunos aceita a analogia apresentada no

contexto escolar sem críticas, como uma verdade absoluta, por não identificarem corretamente as relações analógicas ou por não entenderem o significado de uma analogia.

Estudantes em diferentes níveis de ensino apresentam concepções alternativas relacionadas aos mais diversos conceitos químicos. Mas, por ser o conteúdo ligação química um dos mais importantes e difíceis de compreensão, o mesmo tem se constituído como um foco de investigação no que se refere às concepções alternativas dos estudantes. A quantidade de artigos aqui retratados evidencia isso. Vale acrescentar que os métodos tradicionais de ensino, em que os alunos precisam deter quantidades enormes de informações, com o propósito de que sejam memorizadas e devolvidas nas avaliações da mesma forma que foram "ensinadas" pelo professor, dificilmente conseguirão promover uma evolução das concepções alternativas dos estudantes em direção às ideias cientificamente aceitas. Nesse sentido, esse modelo de ensino e aprendizagem tradicional de ligação química precisa ser superado. Essa superação, no entanto, não é tarefa fácil, pois vai demandar do professor a capacidade de organizar e dirigir situações de aprendizagem a partir de uma perspectiva construtivista que leve em consideração características, ritmos, motivações dos alunos e que não apenas incite professores e alunos a ficarem "correndo" atrás de programas (PERRENOUD, 2000). Essa nova postura exigirá que o professor tenha consciência de que a sua visão tradicional de ensino repercuta em sua prática docente e que é necessário mudar essa situação.

A análise realizada nos estudos em relação à base teórica (quadro 2) revelou que 24 investigações (55,81%) adotaram o referencial construtivista de aprendizagem. Desses 24 artigos, 07 trazem o construtivismo de forma explícita, outros 07 citam autores construtivistas como referencial teórico e 10 investigações não fazem referência de forma explícita ao construtivismo, contudo, ficou constatado esse referencial, pois, esses estudos investigaram as concepções alternativas dos estudantes. A teoria dos modelos mentais foi utilizada em 07 artigos (16,27%), as teorias sobre analogias foram empregadas em 05 investigações (11,62%), as teorias sobre as ligações químicas foram adotadas em 04 trabalhos (9,30%), a aprendizagem cooperativa foi identificada como sendo a base teórica de 02 investigações (4,65%) e a teoria de flexibilidade cognitiva (TFC) esteve presente em apenas 01 trabalho (2,32%).

Em termos da metodologia empregada na coleta dos dados de pesquisa, o questionário foi o instrumento utilizado em 11 artigos (25,58%), o mesmo número de investigações recorreu à entrevista. O questionário e a entrevista foram utilizados de forma conjunta em 09 trabalhos (20,93%). A análise de livros foi realizada em 04 artigos (9,30%), assim como as revisões de literatura das concepções alternativas em relação ao tema ligação química. Gravações de vídeo, revisão das teorias quânticas sobre as ligações químicas, análise e confecção de hipermídias foram as técnicas utilizadas em apenas 01 artigo (2,32%). Observou-se também que 23 investigações (53,48%) foram de caráter puramente qualitativo (GÜNTHER, 2006), enquanto que 20 estudos (46,51%) foram de caráter qualitativo, mas que utilizaram técnicas quantitativas (dados percentuais e gráficos). Esses dados refletem a tendência internacional das investigações em Ensino de Ciências a serem predominantemente de natureza qualitativa. No entanto, outro ponto que vale destaque é o fato de que quase a metade dos estudos utiliza metodologias de análise integradas (qualitativa e

quantitativa). Esse tipo de abordagem (integradora) vem sendo discutida e recomendada por diversos pesquisadores (GRECA, 2001).

No que diz respeito aos sujeitos de pesquisa das investigações sobre o ensino e a aprendizagem de ligação química, 17 artigos (39,53%) tiveram como amostra apenas alunos do ensino médio, 06 trabalhos (13,95%) alunos do ensino superior e 01 estudo (2,32%) alunos do ensino fundamental. Alguns estudos tiveram como sujeitos de pesquisa alunos de mais de um nível de ensino, foi o caso de 01 estudo (2,32%) que teve como amostra alunos do ensino médio e do ensino superior e de 09 artigos (20,93%) que tiveram como amostra alunos de ensino médio, superior e de pós-graduação.

Os conteúdos apresentados nos artigos enfocam muitos aspectos em relação ao ensino e à aprendizagem de ligação química, no entanto, investigações que identificam as concepções alternativas dos alunos são maioria, como foi dito anteriormente, somando um total de 17 artigos (39,53%). Ainda, 06 artigos (13,95%) abordam os modelos mentais dos estudantes, 05 (11,62%) os aspectos didáticos e curriculares do tema ligação química, 05 (11,62%) o ensino por analogias, 04 (9,30%) a análise de livros didáticos, 03 (6,97%) o computador como instrumento didático e 02 artigos (4,65%) novas metodologias de ensino.

No que se refere aos resultados e conclusões dos artigos, tornou-se evidente que as concepções alternativas dos alunos constituem um obstáculo significativo na aprendizagem do tema ligação química, cabe ao professor ficar atento ao surgimento dessas concepções e levá-las em consideração no planejamento de suas aulas. Em relação aos modelos mentais, as pesquisas identificaram que os modelos utilizados pelos professores precisam estar adequados ao nível dos alunos e que os alunos preferem os modelos mais simples. As investigações que empregaram analogias durante o ensino de ligação química afirmam que a analogia deve favorecer a aprendizagem e que o uso de analogias inadequadas contribui para o surgimento de concepções alternativas. A análise dos livros didáticos mostrou que esse recurso precisa ser reformulado em relação ao tema ligação química. As pesquisas que focaram as questões didáticas e curriculares sugerem uma mudança no currículo e na forma como o tema ligação química é ensinado atualmente. Os estudos que utilizaram o computador como instrumento didático obtiveram êxito nas investigações desenvolvidas e admitem que o uso do computador pode favorecer a aprendizagem dos alunos. As investigações que adotaram novas metodologias (Aprendizagem Cooperativa Jigsaw e Unidades Didáticas) tiveram bons resultados e as recomendam para o ensino de ligação química.

Considerações finais

Os dados revelaram que da década de noventa até os dias atuais a tendência de investigação predominante foi a análise das concepções alternativas dos estudantes, em diferentes níveis de ensino, sobre os diversos aspectos conceituais que envolvem o conteúdo ligação química. O conhecimento das ideias equivocadas dos alunos e as justificativas apresentadas constituem um ponto de partida importante para que os professores/pesquisadores da área de Ensino de Química possam elaborar estratégias

didáticas que as levem em consideração contribuindo dessa forma para um melhor entendimento conceitual de ligação química pelos estudantes.

A pesquisa bibliográfica identificou que existem poucos trabalhos nacionais sobre o ensino e aprendizagem de ligação química, enquanto que internacionalmente existe um grande número de investigações sobre esse assunto, sendo a maioria relacionada com as concepções alternativas e poucas voltadas para a proposição de novas metodologias de ensino.

Ficou constatado ainda nesse estudo que a base teórica assumida pela maioria das investigações foi o construtivismo, assim como os instrumentos de coleta de dados mais utilizados foram o questionário e a entrevista. Além disso, a metodologia de análise de dados caminha na direção de uma abordagem integrada (qualitativa e quantitativa), mas sendo ainda predominantemente qualitativa. Os sujeitos de pesquisa mais presentes nos artigos foram os alunos do ensino médio e superior sendo o conteúdo mais presente nos estudos as concepções alternativas dos estudantes.

A análise dos artigos quanto ao tipo de conteúdo, base teórica e metodologia de pesquisa mostrou que, além das concepções alternativas dos estudantes outros aspectos do ensino e aprendizagem de ligação química são retratados e constituem foco de investigação, como modelos mentais e analogias, revisão de livros didáticos, incorporação de recursos computacionais em sala de aula e metodologias de aprendizagem cooperativa.

Considera-se que os resultados das pesquisas apresentadas nesse trabalho não esgotaram as discussões encontradas na literatura sobre o ensino e a aprendizagem de ligação química, sendo outras contribuições nesse sentido muito bem-vindas.

Referências

ACAR, B.; TARHAN, L. Effects of cooperative learning on students' understanding of metallic bonding. **Research in Science Education**, v. 38, n. 4, p. 401-420, 2008.

BARKER, V.; MILLAR, R. Students' reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course? **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 11, p. 1171-1200, 2000.

BIRK, J.P.; KURTZ, M.J. Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 1, p. 124-128, 1999.

BOO, H.K. Students' understandings of chemical bonds and the energetic of chemical reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, n. 5, p. 569-581, 1998.

BORSESE, A. Una matriz conceptual única para los diversos tipos de enlace químico. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n. 1, p. 116-118, 1995.

CARVALHO, N.B.; JUSTI, R.S. Papel da analogia do "mar de elétrons" na compreensão do modelo de ligação metálica. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extra VII, p. 1-4, 2005.

CHAGAS, A. P.; AIROLDI, C. Os livros textos e alguns aspectos da ligação química. **Química Nova**, v. 6, n. 2, p. 60-66, 1983.

- COLL, R.K. Chemistry learners' preferred mental models for chemical bonding. **Journal of Turkish Science Education**, v. 5, n. 1, p. 22-47, 2007.
- COLL, R.K.; TAYLOR, N. Alternative conceptions of chemical bonding held by upper secondary and tertiary students. **Research in Science & Technological Education**, v. 19, n. 2, p. 171-191, 2001.
- COLL, R.K.; TAYLOR, N. Mental models in chemistry: senior chemistry students' mental models of chemical bonding. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 3, n. 2, p. 175-184, 2002.
- COLL, R.K.; TREAGUST, D.F. Learners' use of analogy and alternative conceptions for chemical bonding: a cross-age study. **Australian Science teachers' Journal**, v. 48, n. 1, p. 24-32, 2001a.
- COLL, R.K.; TREAGUST, D.F. Learners' mental models of chemical bonding. **Research in Science Education**, v. 31, p. 357-382, 2001b.
- COLL, R.K.; TREAGUST, D.F. Exploring tertiary students' understanding of covalent bonding. **Research in Science & Technological Education**, v. 20, n. 2, p. 241-267, 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, 2003a.
- COLL, R.K.; TREAGUST, D.F. Learners' mental models of metallic bonding: a cross-age study. **Science Education**, v. 87, n. 5, p. 685-707, 2003b.
- COSTA, A.R.; OLIVEIRA, J.P.; ALVES, J.M. Analisando a construção de explicações individuais e coletivas em aulas sobre ligações iônicas, na 8ª série. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 7, n. 1, p. 86-106, 2008.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Resolução de problemas I: Diferenças entre novatos e especialistas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 2, p. 176-192, 1996.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Resolução de problemas II: Propostas de metodologias didáticas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 1, p. 5-26, 1997a.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Resolução de problemas III: Fatores que influenciam na resolução de problemas em sala de aula. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 2, p. 65-104, 1997b.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Resolução de problemas IV: Estratégias para resolução de problemas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, p. 153-184, 1997c.
- DE POSADA, J.M. Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia em el estado sólido. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 1, p. 12-19, 1993.
- DE POSADA, J.M. Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: structure and evolution. **Science Education**, v. 84, n. 4, p. 445-467, 1997.
- DE POSADA, J.M. Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 2, p. 12-19, 1999a.

DE POSADA, J.M. The presentation of metallic bonding in high school science textbooks during three decades: Science educational reforms and substantive changes of tendencies. **Science Education**, v. 83, n. 4, p. 423-447, 1999b.

DOYMUS, K. Teaching chemical bonding through jigsaw cooperative learning. **Research in Science & Technological Education**, v. 26, n. 1, p. 47-57, 2008.

DRIVER, R. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, 109-120, 1988.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M.E.R. Concepções dos estudantes sobre ligação química. **Química Nova na Escola**, v. 2, n. 24, p. 20-24, 2006.

FRAILICH, M.; KESNER, M.; HOFSTEIN, A. Enhancing students' understanding of the concept of chemical bonding by using activities provided on an interactive website. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 46, n. 3, p. 289-310, 2009.

FRANCO, A.G.; RUIZ, A.G. Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico em el bachillerato. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 1, p. 111-124, 2006.

GRECA, I.M. Discutindo aspectos metodológicos da pesquisa em ensino de ciências: algumas questões para refletir. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n.1, p. 73-82, 2001.

GÜNTHER, H. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 22, n. 2, p. 201-210, 2006.

HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. **Science Education**, v. 84, n. 3, p. 352-381, 2000.

JOHNSTONE, A.H. Macro and microchemistry. **School Science Review**, v.64, n. 227, p.377-379, 1992.

JUSTI, R.; MENDONÇA, P.C.C. Usando analogias com função criativa: uma nova estratégia para o ensino de química. **Educació Química**, v. 1, n. 1, p. 24-29. 2008.

LEÃO, M.B.C.; SILVEIRA, T.A.; SILVA, B.L. Elaboração de multimídias educacionais para o ensino de química ligações iônicas e cinética química. **Química no Brasil**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 43-52, 2007.

MENDONÇA, P.C.C.; JUSTI, R.; OLIVEIRA, M.M. Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação e Ciências**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2006.

MORTIMER, E.F.; MOL, G.; DUARTE, L.P. Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: dogma ou ciência? **Química Nova**, v. 17, n. 3, p. 243-252, 1994.

NAHUM, T.L.; MAMLOK-NAAMAN, R.; HOFSTEIN, A.; KRAJCIK, J. Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. **Science Education**, v. 91, p. 579- 603, 2007.

NIAZ, M. A rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 6, p. 623-641, 2001.

- NICOLL, G. A report of undergraduates' bonding misconceptions. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 7, p. 707-730, 2001.
- OTHMAN, J.B.; TREAGUST, D.F.; CHANDRASEGARAN, A.L. An investigation into the relationship between students' ideas about particles and their understanding of chemical bonding using a two-tier diagnostic instrument. In: PROCEEDINGS OF THE REDESIGNING PEDAGOGY: CULTURE, KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING CONFERENCE, 5, 2007, Singapore. **Annals of Conference Proceedings of the Redesigning Pedagogy: Culture, Knowledge and Understanding**. Singapore: Centre for Research in Pedagogy and Practice, National Institute of Education, Nanyang Technological University, 2007.
- ÖZMEN, H. Some student misconceptions in chemistry: A literature review of chemical bonding. **Journal of Science Education and Technology**, v. 13 n. 2, p. 147-159, 2004.
- ÖZMEN, H. The influence of computer-assisted instruction on students' conceptual understanding of chemical bonding and toward chemistry: A case for Turkey. **Computers & Education**, v. 51, n. 1, p. 423-438, 2008.
- ÖZMEN, H.; DEMIRCIOĞLU, H.; DEMIRCIUĞLU, G. The effect of conceptual change texts accompanied with animations on overcoming 11th grade students' alternative conceptions of chemical bonding. **Computers & Education**, v. 52, n. 3, p. 681-695, 2009.
- POZO, J.I.; CRESPO, M.A.; GOMEZ, L.; SERRANO, M.; SANZ, A. **Procesos cognitivos em la comprension de La ciência**: las ideas de los adolescentes sobre la química. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, 1991.
- PERRENOUD, P. **10 Novas competências para ensinar**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
- PETERSON, R.F.; TREAGUST, D.F. Grade – 12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. **Journal of Chemical Education**, v. 66, n. 6, p. 459-460, 1989.
- RIBOLDI, L.; PLIEGO, Ó.; ODETTI, H. El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 22, n. 2, p. 195-212, 2004.
- ROBINSON, W.R. An alternative framework for chemical bonding. **Journal of Chemical Education**, v. 75, n. 9, p. 1074-1075, 1998.
- SOLBES, J.; VILCHES, A. Analisis de la introducción de la teoria de enlaces y bandas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 1. p. 53-58, 1991.
- TABER, K.S. Misunderstanding the ionic bond. **Education in Chemistry**, v. 31, n. 4, p.100-102, 1994.
- TEICHERT, M.A.; STACY, A.M. Promoting understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 6, p. 464-496, 2002.
- TOMA, H.E. Ligação química: abordagem clássica ou quântica? **Química Nova na Escola**, v. 6, n. 2, p. 8-12, 1997.

TSAPARLIS, G. Atomic and molecular structure in chemical education. A critical analyses from various perspectives of science education. **Journal of Chemical Education**, v. 74, p. 922-925, 1997.

ÜNAL, S.; ÇALIK, M.; AYAS, A.; COLL, R. K. A review of chemical bonding studies: needs, aims, methods of exploring students' conceptions, general knowledge claims and students' alternatives conceptions. **Research in Science & Technological Education**, v. 24, n. 2, p. 141-172, 2006.

Apêndice A – Quadros 2 e 3

Quadro 2. Base teórica, metodologia e sujeitos das pesquisas nos artigos analisados.

| Autor(es)/Ano | Base teórica | Metodologia/Sujeitos da pesquisa |
|---------------------------------|--------------------------------|--|
| 1. CHAGAS e AIROLDI (1982). | Teorias sobre ligação química. | Análise de livros-texto de química. |
| 2. PETERSON e TREAGUST (1989). | Construtivismo. | Questionário/Alunos do ensino médio. |
| 3. SOLBES e VILCHES (1991). | Teorias sobre ligação química. | Análise de livros-texto de física e química do ensino médio. |
| 4. DE POSADA (1993). | Construtivismo. | Questionário/Alunos do ensino médio. |
| 5. MORTIMER, et al, (1994). | Construtivismo. | Questionário/Alunos do ensino médio. |
| 6. TABER (1994). | Teoria dos modelos mentais. | Entrevistas/Alunos do ensino superior. |
| 7. BORSESE (1995). | Teorias sobre ligação química. | Análise do currículo espanhol sobre o ensino de ligação química. |
| 8. DE POSADA (1997). | Construtivismo. | Questionário e entrevistas/Alunos do ensino médio. |
| 9. TOMA (1997). | Teorias sobre ligação química. | Revisão das teorias quânticas sobre as ligações químicas. |
| 10. ROBINSON (1998). | Construtivismo. | Revisão da literatura. |
| 11. BOO (1998). | Construtivismo. | Entrevistas/Alunos do ensino médio. |
| 12. BIRK e KURTZ (1999). | Construtivismo. | Questionário/Alunos do ensino médio, superior e graduados. |
| 13. DE POSADA (1999). | Construtivismo. | Entrevistas e gravações/Alunos do ensino médio. |
| 14. DE POSADA (1999). | Construtivismo. | Análise de livros-texto de física e química do ensino médio. |
| 15. BARKER e MILLAR (2000). | Construtivismo. | Questionário/Alunos do ensino médio. |
| 16. HARRISON e TREAGUST (2000). | Teorias sobre analogias. | Questionário e entrevistas/Alunos do ensino médio. |
| 17. NICOLL (2001). | Construtivismo. | Questionário e entrevistas/Alunos do ensino superior. |
| 18. COLL e TAYLOR (2001). | Construtivismo. | Entrevistas/Alunos do ensino médio, superior e pós-graduação. |
| 19. COLL e TREAGUST (2001). | Teoria dos modelos mentais. | Entrevistas/Alunos do ensino médio, superior e pós-graduação. |
| 20. COLL e TREAGUST (2001). | Teorias sobre analogias. | Entrevistas/Alunos do ensino médio, superior e pós-graduação. |

| | | |
|--|--|---|
| 21. NIAZ (2001). | Construtivismo. | Análise de livros-texto de química. |
| 22. COLL e TAYLOR (2002). | Teoria dos modelos mentais. | Entrevistas/Alunos do ensino médio, superior e pós-graduação. |
| 23. TEICHERT e STACY (2002). | Construtivismo. | Questionário e entrevistas/Alunos do ensino superior. |
| 24. COLL e TREGUST (2002). | Teoria dos modelos mentais. | Entrevistas/Alunos do ensino médio, superior e pós-graduação. |
| 25. COLL e TREGUST (2003). | Teoria dos modelos mentais. | Entrevistas/Alunos do ensino médio, superior e pós-graduação. |
| 26. COLL e TREGUST (2003). | Teoria dos modelos mentais. | Entrevistas/Alunos do ensino médio, superior e pós-graduação. |
| 27. RIBOLDI, et al, (2004). | Construtivismo. | Questionário/Alunos do ensino médio e superior. |
| 28. ÖZMEN (2004). | Construtivismo. | Revisão da literatura. |
| 29. CARVALHO e JUSTI (2005). | Teorias sobre analogias. | Questionário/Alunos do ensino médio. |
| 30. FERNANDEZ e MARCONDES (2006). | Construtivismo. | Revisão da literatura. |
| 31. MENDONÇA, et al, (2006). | Teorias sobre analogias. | Questionário/Alunos do ensino médio. |
| 32. UNAL, et al, (2006). | Construtivismo. | Revisão da literatura. |
| 33. FRANCO e RUIZ (2006). | Construtivismo. | Questionário, entrevistas e observações de classe/Alunos do ensino médio. |
| 34. LEÃO, et al, (2007). | Teoria da Flexibilidade Cognitiva (TFC). | Análise, comparação e elaboração de hiperfólios para o ensino médio. |
| 35. COLL (2007). | Teoria dos modelos mentais. | Entrevistas/Alunos do ensino médio, superior e pós-graduação. |
| 36. NAHUM, et al, (2007). | Construtivismo. | Questionário e entrevistas/Alunos do ensino superior, professores e pesquisadores da área de química. |
| 37. ACAR e TARHAN (2008). | Teoria da Aprendizagem Cooperativa. | Questionário e entrevistas/Alunos do ensino médio. |
| 38. COSTA, et al, (2008). | Construtivismo. | Gravações de vídeo/Alunos da oitava série do ensino fundamental. |
| 39. DOYMUS (2008). | Teoria da Aprendizagem Cooperativa Jigsaw. | Questionário/Alunos do ensino superior. |
| 40. ÖZMEN (2008). | Construtivismo. | Questionário e entrevistas/Alunos do ensino médio. |
| 41. JUSTI e MENDONÇA (2008). | Teorias sobre analogias. | Questionário/Alunos do ensino médio. |
| 42. FRAILICH, et al, (2009). | Construtivismo. | Questionário e entrevistas/Alunos do ensino médio. |
| 43. ÖZMEN, et al, (2009). | Construtivismo. | Questionário/Alunos do ensino médio. |

Quadro 3. Conteúdo abordado, resultados obtidos e conclusões nos artigos analisados.

| Artigo | Conteúdo abordado | Resultados obtidos/Conclusões |
|--------|--|---|
| 1. | Discussão sobre alguns aspectos da ligação química contidos nos livros-texto de química. | Os livros-texto de química universitários e secundários, nacionais e estrangeiros dão a impressão de que a ligação iônica e a covalente são duas coisas de naturezas distintas e não extremos de um contínuo/É preciso cuidado com a utilização dos livros na abordagem dos conceitos relativos à ligação química. |
| 2. | Concepções alternativas sobre a ligação covalente. | Este trabalho identificou as seguintes concepções alternativas: igual distribuição do par eletrônico em todas as ligações covalentes; a polaridade determina a forma das moléculas/É importante que o professor conheça as concepções alternativas dos alunos para desenvolver abordagens de ensino que contribuam para a minimização dessas ideias. |
| 3. | Abordagem da ligação química em livros-texto de Física e Química do ensino médio. | Os livros não oferecem uma visão unitária dos três tipos de ligações químicas e não destacam as limitações dos modelos utilizados para explicá-las/Devem-se apresentar as limitações dos modelos utilizados para explicar as ligações químicas e utilizar a estrutura microscópica para explicar as propriedades físicas das substâncias. |
| 4. | Concepções dos estudantes sobre a estrutura interna da matéria. | Os alunos não assimilam satisfatoriamente a estrutura microscópica da matéria, para eles o mundo microscópico é igual ao macroscópico só que de tamanho reduzido/Os alunos precisam superar obstáculos epistemológicos para adquirir a concepção atômica da matéria. |
| 5. | O uso da Regra do Octeto no ensino de química. | Os estudantes sabem realizar os cálculos referentes à Lei de Hess, porém, desconsideram esses cálculos diante de afirmações que os contradizem, explicando a estabilidade dos compostos a partir da regra do octeto/No ensino de química há uma tendência em enfatizar a regra do octeto na explicação da estabilidade dos compostos. |
| 6. | Concepções alternativas sobre a ligação iônica. | Este estudo retrata algumas concepções alternativas sobre a ligação iônica: os compostos iônicos são formados por moléculas discretas; em um composto iônico um íon só interage com seu contra-íon/O ensino de ligação iônica deveria ser mais focado nas forças eletrostáticas do que na formação do íon. Deve-se mostrar a diferença entre formação de íons (transferência de elétrons) e ligação iônica. |
| 7. | A utilização da teoria eletrostática para explicar as ligações químicas. | O modelo eletrostático é o mais adequado para explicar os três tipos de ligações químicas/A ligação química deve ser ensinada de acordo a sua origem nas forças atrativas e repulsivas que ocorrem entre as cargas das partículas que compõem os átomos. |
| 8. | Concepções dos estudantes sobre a estrutura interna dos metais e sua propriedade de condução elétrica. | Neste trabalho ficou constatado que os alunos não assimilam satisfatoriamente a estrutura dos metais e não entendem como ocorre a condução elétrica nessas substâncias/As concepções alternativas sobre a estrutura interna dos metais são um importante obstáculo para a aprendizagem dos conceitos científicos e para a compreensão adequada da realidade. |

| | | |
|-----|--|--|
| 9. | Definição de uma abordagem adequada para o ensino de ligação química no ensino médio. | A visão sobre a ligação química não pode se restringir ao compartilhamento de um par de elétrons entre dois átomos ou à ideia de um par de elétrons ocupando um orbital molecular/As teorias da mecânica quântica são as mais adequadas para abordar o tema ligação química no ensino médio. Para isso podem ser utilizados softwares de modelagem molecular. |
| 10. | Concepções alternativas sobre as ligações químicas. | Este estudo identificou algumas concepções alternativas: os átomos “precisam” obter uma camada completa; a causa da ligação covalente é o compartilhamento de elétrons/É preciso cuidado no uso da regra do octeto na explicação das ligações químicas ressaltando que a obtenção de uma camada completa não provoca a formação de ligações covalentes. |
| 11. | Concepções alternativas sobre as ligações químicas e a energia envolvida nas reações químicas. | Verificou-se a seguinte concepção alternativa: é preciso energia na formação e na quebra de ligações químicas; Além disso, foi constatado que existe confusão por parte dos alunos em relação à classificação dos tipos de ligação química/O conhecimento das concepções alternativas serve de alerta para professores, desenvolvedores de currículo e escritores de livros didáticos de química, no sentido de organizar materiais didáticos que visem à minimização dessas ideias equivocadas. |
| 12. | Concepções alternativas sobre as ligações covalentes. | Aborda as seguintes concepções alternativas: a forma das moléculas é influenciada apenas pela repulsão entre os pares de elétrons que formam as ligações; a carga iônica determina a polaridade da ligação; elétrons possuem carga positiva/As concepções alternativas em geral diminuem depois de anos de instrução formal, porém, não desaparecem totalmente, devido à abstração desse tema. |
| 13. | Concepções alternativas sobre as ligações químicas. | Os alunos não conseguem representar corretamente as substâncias do ponto de vista atômico-molecular/É necessário utilizar de forma adequada tanto a linguagem quanto a representação própria da química. O conceito de íon deve ser explorado com mais ênfase. |
| 14. | Análise da abordagem de ligação metálica em livros-texto de ciências. | Os livros não utilizam o modelo dos elétrons livres para explicar as propriedades dos metais; existe um número excessivo de metáforas e analogias na explicação dos modelos relativos à ligação metálica/Poucos livros apresentam uma abordagem da ligação metálica numa perspectiva construtivista conforme é recomendado pelas orientações curriculares oficiais da Espanha. |
| 15. | Concepções alternativas sobre ligações químicas e sua relação com a termodinâmica. | Este estudo identificou que os alunos não compreendem os aspectos energéticos que ocorrem na formação ou na quebra das ligações químicas e nem relacionam esses processos com a termodinâmica/Apesar das concepções alternativas serem resistentes é preciso discutir soluções para que ocorram mudanças nas ideias dos alunos. |

| | | |
|-----|--|---|
| 16. | Investigação sobre as analogias e os modelos mentais utilizados nas explicações sobre átomos, moléculas e ligação química. | Os modelos e analogias podem ser utilizados de forma a promover a aprendizagem de ligação química/É necessário que os professores estejam atentos para as concepções dos estudantes e percebam se as analogias empregadas na explicação das ligações químicas estão realmente facilitando o entendimento desse tema. |
| 17. | Concepções alternativas sobre as ligações químicas. | Os alunos confundem átomo e molécula; possuem uma visão dos átomos e dos elétrons como seres animados/As concepções alternativas são resistentes ao tempo e se faz necessário uma reformulação curricular no ensino de química para melhorar o entendimento dos estudantes. |
| 18. | Concepções alternativas sobre as ligações químicas. | Observou-se as seguintes concepções alternativas: a ligação metálica é fraca; os sólidos metálicos são formados por moléculas; a ligação iônica ocorre com o compartilhamento de elétrons/É necessário limitar e adequar o uso dos modelos utilizados para explicar as ligações químicas ao nível de ensino dos estudantes. |
| 19. | Modelos mentais dos estudantes usados para explicar as ligações químicas. | Os alunos utilizam o modelo dos elétrons livres para explicar a ligação metálica e o modelo eletrostático para a ligação iônica/Os estudantes preferem os modelos mais simples para explicar as ligações químicas embora conheçam outros modelos mais sofisticados. |
| 20. | As analogias mais comuns e as concepções alternativas sobre as ligações químicas. | Os estudantes veem os compostos iônicos e metálicos como moleculares, além disso, é comum a visão antropomórfica em relação aos conceitos sobre ligação química/As analogias utilizadas na explicação das ligações químicas podem gerar concepções alternativas se forem usadas de forma inadequada. |
| 21. | Um estudo histórico da ligação covalente e implicações para os livros-texto de química geral. | Nos livros a ênfase está na representação das ligações covalentes sem discussão histórica. A origem da ligação covalente é apresentada numa perspectiva indutivista: observações experimentais conduzem a leis científicas/Poucos livros consideram a História e a Filosofia das Ciências na abordagem da ligação covalente. |
| 22. | Modelos mentais dos estudantes sobre ligação química. | Cada estudante possui um modelo mental associado a algum tipo de ligação química/Os alunos preferem os modelos mais simples e menos abstratos para explicar a ligação química. |
| 23. | O ensino de ligação química e espontaneidade das reações através de discussões em grupo. | O ensino através de discussões em grupo mostrou-se eficaz para a aprendizagem de ligação química e termodinâmica/A abordagem de ensino deve ser executada de forma mais cuidadosa em tópicos curriculares nos quais os alunos possuem concepções alternativas persistentes. |
| 24. | Modelos mentais dos estudantes para a ligação covalente. | Nessa investigação ficou evidenciado que a regra do octeto é a mais utilizada pelos alunos para explicar a ligação covalente/É necessário que o professor seja mais crítico na escolha da(s) teoria(s) que utiliza(m) para explicar a ligação covalente. |
| 25. | Modelos mentais dos estudantes para a ligação iônica. | Nesse estudo ficou constatado que os alunos não assimilam bem a noção de raio iônico e, além disso, não conseguem diferenciar sólidos covalentes e iônicos/Os professores de química precisam estabelecer mais relações entre o microscópico e o macroscópico e justificar a finalidade da utilização dos modelos mentais no ensino de química. |

| | | |
|-----|---|--|
| 26. | Modelos mentais dos estudantes para a ligação metálica. | Os alunos recorrem na maioria das vezes à teoria dos elétrons livres para explicar a ligação metálica/É necessário adequar o modelo e as teorias utilizadas para explicar a ligação metálica ao nível dos alunos. |
| 27. | Concepções alternativas sobre as ligações químicas. | Este trabalho identificou as seguintes concepções alternativas: átomos de um mesmo elemento químico se unem através de ligação covalente; átomos de elementos diferentes só se unem através de ligação iônica/É necessário revisar as práticas de ensino no âmbito universitário a fim de analisar se algumas delas favorecem a presença de concepções alternativas. |
| 28. | Revisão da literatura sobre as concepções alternativas dos estudantes sobre as ligações químicas. | O tema ligação química é muito importante para o desenvolvimento de outros assuntos, no entanto existem muitas concepções alternativas sobre essa temática identificadas na literatura/A identificação dessas ideias pode ser útil para o professor traçar estratégias para melhorar o entendimento dos estudantes sobre as ligações químicas. |
| 29. | A analogia do “mar de elétrons” no ensino da ligação metálica. | A ligação metálica é um tópico de difícil compreensão para os alunos/O uso da analogia do “mar de elétrons” deve ser usada com cautela na explicação da ligação metálica. |
| 30. | Concepções alternativas sobre as ligações químicas. | A presença das concepções alternativas nos estudantes dificulta a aprendizagem dos conceitos científicos relativos à ligação química/Conhecendo as principais concepções alternativas dos estudantes o professor poderá traçar estratégias para evitá-las e melhorar a qualidade do ensino de ligação química. |
| 31. | O ensino de ligação química por meio de analogias. | A criação de analogias por parte dos alunos pode contribuir para a aprendizagem de ligação química/É importante que os alunos criem suas analogias, pois essa ação exige do estudante muita criatividade. |
| 32. | Revisão sobre as metodologias de ensino utilizadas na abordagem do tema ligação química. | A literatura relata muitas pesquisas sobre o ensino de ligação química principalmente voltadas para o ensino por analogias, concepções alternativas e modelos mentais/Mudanças nas metodologias de ensino das ligações químicas precisam ser implementadas de forma a promover uma melhor compreensão desse tema. |
| 33. | Desenvolvimento de uma unidade didática para o ensino de ligação química. | A maioria dos estudantes utiliza unicamente a regra do octeto para explicar a estabilidade das substâncias/A estratégia didática construtivista de execução de unidades didáticas mostrou-se eficiente no contexto adotado para o ensino de ligação química. |
| 34. | Avaliação e elaboração de hipermídias para o ensino de química. | A maioria das hipermídias educacionais apresenta muita preocupação com a estética e quase não possui interatividade com o usuário/A utilização de uma hipermídia adequada pode ajudar no ensino de ligação química. |
| 35. | Modelos mentais dos estudantes sobre as ligações químicas. | Os estudantes preferem os modelos e teorias mais simples para explicar as ligações químicas/Os alunos utilizam seus modelos mentais sobre as ligações químicas para explicar as propriedades físicas e químicas das substâncias. |
| 36. | Análise da didática empregada no ensino de ligação química. | A abordagem tradicional do ensino de ligação química não obtém mais resultados satisfatórios na aprendizagem dos alunos/A pedagogia atual precisa ser reformulada para melhorar a qualidade do ensino do tema ligação química. |

| | | |
|-----|---|---|
| 37. | O ensino da ligação metálica através da Aprendizagem Cooperativa. | Esta investigação identificou as seguintes concepções alternativas: nos metais existe um tipo de ligação iônica; a ligação metálica ocorre com o compartilhamento de elétrons/A Aprendizagem Cooperativa mostrou-se eficiente no contexto em que foi adotada e é uma estratégia didática recomendada para o ensino da ligação metálica. |
| 38. | Explicações dos alunos sobre a ligação iônica. | Os alunos possuem explicações equivocadas sobre a ligação iônica que podem ser alteradas através da discussão com a classe mediada pelo professor/A interação discursiva entre alunos e professores pode favorecer o aprendizado da ligação iônica. |
| 39. | O ensino de ligação química através da Aprendizagem Cooperativa Jigsaw. | Este estudo identificou as seguintes concepções alternativas: uma ligação covalente é formada entre um ametal e íons; somente um elétron é compartilhado em uma ligação covalente/A Aprendizagem Cooperativa Jigsaw se mostrou eficaz no ensino de ligação química. |
| 40. | A utilização de ferramentas computacionais no ensino de ligação química. | Nesse estudo ficou constatado que os alunos confundem ligações covalentes polares e apolares e acreditam que as ligações iônicas são formadas apenas entre metais alcalinos e halogênios/Ferramentas computacionais podem ser úteis na melhoria do ensino e na redução das concepções alternativas sobre ligação química. |
| 41. | O ensino das ligações químicas através de analogias. | Os alunos são capazes de criar analogias coerentes ou não para explicar as ligações químicas/A criação de analogias pelos estudantes pode ser eficaz na detecção de concepções alternativas. |
| 42. | O ensino de ligação química utilizando um site interativo. | O uso de figuras criadas por ferramentas computacionais pode facilitar a aprendizagem das ligações químicas/A utilização de um site interativo mostrou-se eficiente no ensino de ligação química. |
| 43. | Identificação de concepções alternativas através de ferramentas computacionais. | O ensino utilizando animações computacionais pode se constituir como um meio eficaz no entendimento das ligações químicas/Mesmo após o ensino utilizando animações computacionais ainda podem existir concepções alternativas sobre as ligações químicas. |

Submetido em março de 2010, aceito para publicação em dezembro de 2012.