

ENSINO & MULTIDISCIPLINARIDADE

Jan. | Jun. 2017 – Volume 3, Número 1, p. 1-16.

Análise de evidências sobre a representação de modelos mentais em ligações químicas: concepções de licenciandos em Química

Analysis of evidence on the representation of mental models in Chemical Bonds: conceptions of graduates in Chemistry

Dayan Araújo Marques¹ - <https://orcid.org/0000-0001-7155-5108>
Marcel Bruno Pereira Braga² - <https://orcid.org/0000-0003-2226-1538>
Sidilene Aquino de Farias³ - <https://orcid.org/0000-0003-3866-207X>

¹Mestre em Química na Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Professor Assistente na Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Franco, Acre, Brasil. E-mail: dayanmarques@hotmail.com.

²Doutor em Ensino de Ciências na Universidade de Coimbra (UC). Professor Adjunto na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: marcelbraga@ufam.edu.br.

³Doutora em Química na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Professora Associada na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: sfarias@ufam.edu.br.

Resumo

O presente estudo teve como objetivos: (1) analisar qualitativamente os itens presentes no instrumento utilizado para levantar os modelos mentais dos licenciandos; (2) caracterizar modelos mentais de licenciandos em Química, ainda cursando a disciplina Química Geral, sobre ligações químicas. Os dados foram coletados mediante a aplicação de um teste com 12 itens, sendo 10 itens de múltipla escolha e duas questões abertas. A análise qualitativa do instrumento considerou a forma do item - convencional, textualizada, contextualizada - e processos cognitivos e dimensões do conhecimento. Um segundo foco da análise consistiu no desempenho dos licenciandos, considerando os modelos mentais sobre Ligação Química, tomando como aporte teórico a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Foi verificado que o instrumento precisa ser repensado e aprimorado, pois a maioria dos itens focou nos processos cognitivos de níveis mais baixos relacionados, em maioria, com conhecimento de fatos. Os licenciandos apresentaram dificuldades em responder a maioria dos itens, principalmente aqueles que apresentavam representações de algum fenômeno e/ou modelo explicativo de entidades submicroscópicas, desconsiderando a representação de cargas elétricas, a interação entre cargas elétricas, o rompimento de interações intermoleculares, confundindo com o rompimento de ligações, o que aponta para modelos mentais pouco elaborados e não nítidos.

Como citar: MARQUES, D. A.; BRAGA, M. B. P.; FARIAS, S. A. Análise de evidências sobre a representação de modelos mentais em ligações químicas: concepções de licenciandos em Química. **Ensino e Multidisciplinaridade**, São Luís, v. 3, n. 1, p. 1-16, 2017.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Palavras-chave: Licenciandos em Química. Modelos Mentais. Ligações Químicas.

Abstract

The present study had as objectives: (1) to analyze qualitatively the items present in the instrument used to gather the mental models of the graduates; (2) to characterize mental models of undergraduates in Chemistry, still taking the General Chemistry discipline, about chemical bonds. Data was collected by applying a test with 12 items, 10 of which were multiple choice and two open questions. The qualitative analysis of the instrument considered the item's form - conventional, textualized, contextualized - and cognitive processes and dimensions of knowledge. A second focus of the analysis consisted of the undergraduates' performance, considering the mind models on Chemical Bonding, taking as theoretical support the Johnson-Laird Theory of Mental Models. It was found that the instrument needs to be rethought and improved as most items focused on lower-level cognitive processes, mostly related to fact knowledge. The undergraduate students had difficulties in answering most of the items, mainly those that presented representations of some phenomenon and/or explanatory model of submicroscopic entities, disregarding the representation of electrical charges, the interaction between electrical charges, the disruption of intermolecular interactions, confusing with the breaking of links, which points to poorly elaborated and unclear mental models.

Keywords: Graduates in Chemistry. Mental Models. Chemical Bonds.

Introdução

A aprendizagem de conhecimentos científicos, como os conteúdos químicos, requer estratégias e recursos pedagógicos capazes de proporcionar o desenvolvimento do senso crítico e elevar a capacidade de abstração. Dentre os inúmeros conteúdos químicos ensinados nas escolas, um dos mais relevantes é a natureza da Ligação Química. A compreensão desse conteúdo é importante no entendimento da composição da matéria. Relaciona-se com a estrutura eletrônica dos átomos e determina as propriedades macroscópicas das substâncias, e, com isso, tornam-se possíveis investigações sobre a formação e o equilíbrio de ecossistemas, ou seja, os ambientes e sua relação com organismos, bem como os parâmetros que ajudam a manter o sistema biológico conhecido e explorar outros. Dessa maneira, entendemos que a aprendizagem desse conhecimento em específico possibilita uma melhor compreensão das transformações químicas, e, sobretudo, uma leitura de mundo na perspectiva da Química (CHASSOT, 2006).

Todavia, o conteúdo Ligação Química não é de fácil compreensão para estudantes do Ensino Médio e Superior (COSTA-BEBER; MALDANER, 2010; SILVA.; SILVA; OLIVEIRA, 2012; SILVA, 2010); alguns estudos mostram ainda que as concepções alternativas nessa temática estão, inclusive, presentes em todos os níveis de ensino (fundamental, médio, superior e até em alunos de pós-graduação) (FERNANDES; CAMPOS, 2012). As mais frequentes no terceiro ciclo do primário, ou seja, em alunos de 10 e 11 anos são que existem “vários tipos de ligações químicas” ao invés de destacar as duas principais (iônicas e covalentes), possivelmente influenciadas pelo número excessivo de compostos químicos diferentes (THOUIN, 2004). Também não percebem a explicação para a imiscibilidade de líquidos, como, por exemplo, o fato de o azeite não se misturar com a água, tendo a crença limitada por única e simplesmente relacionar a diferença de densidade como condição, não levando em consideração que, sobretudo, não se misturam porque não formam nenhuma ligação química entre si (THOUIN, 2004).

Já no ensino médio, os estudantes possuem uma visão fragmentada do conhecimento em torno das Ligações Químicas, apresentando, com isso, dificuldades em estabelecer relações

entre o modelo atômico, o molecular e o comportamento da matéria (MELO; LIMA NETO, 2013), confundem ligação iônica e covalente (DE POSADA APARICIO, 1993; TAN; TREAGUST, 1999; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006; MILARÉ, 2007), concepções equivocadas sobre ligação metálica (FERREIRA; CAMPOS; FERNANDES, 2013). Possuem, ainda, concepções sobre ligações com explicações relacionadas ao antropomorfismo, que limitam suas explicações à regra do octeto, apresentam dificuldades em representar as ligações químicas e a geometria das moléculas e polaridade (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006). Também, observam-se alguns equívocos por alunos de graduação em Química, como dificuldades de: diferenciar um átomo no estado elementar de molécula; analisar e diferenciar ligações intramoleculares de ligações intermoleculares; e a utilização a regra do octeto para explicar quase todos os fenômenos que envolvem as ligações químicas e ligações intermoleculares, negligenciando a energia de ionização e afinidade eletrônica como causa para a estabilidade (SILVA; SILVA; OLIVEIRA, 2012).

Um levantamento em periódicos nacionais e internacionais sobre o ensino e aprendizagem de Ligação Química mostrou uma baixa incidência nesse campo no contexto nacional, entretanto, pode-se indicar algumas das principais concepções identificadas nesse âmbito para cada um dos tipos de ligações (Quadro 1) (FERNANDES; CAMPOS, 2012).

N	Concepções alternativas sobre a ligação iônica	Produção acadêmica
1	Átomos de um mesmo elemento se unem por ligação iônica; a ligação iônica é mais forte que a covalente.	(RIBOLDI; PLIEGO; ODETTI, 2004).
2	Apenas ligações iônicas fracas são quebradas durante o processo de dissolução.	(BOO, 1998).
3	Compostos iônicos possuem elétrons livres quando dissolvidos em água, mas não no estado sólido.	(OTHMAN; TREAGUST; CHANDRASEGARAN, 2007).
4	A condutividade elétrica de um sal dissolvido em água é determinada pelo metal presente no sal.	(COSTA; OLIVEIRA; ALVES, 2008).
5	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).
6	A razão da transferência de elétrons em uma ligação iônica é a obtenção de uma camada completa.	(ROBINSON, 1998).
N	Concepções alternativas sobre a ligação covalente	Produção acadêmica
1	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)
2	Uma molécula é polar porque possui ligações polares.	(BIRK; KURTZ, 1999; ÖZMEN, 2008).
3	Uma ligação covalente ocorre entre metais e gases nobres.	(ÖZMEN; DEMIRCIOĞLU; DEMIRCIOĞLU, 2009).
4	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 número 8.	(NICOLL, 2001).
5	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).
N	Concepções alternativas sobre a ligação metálica	Produção acadêmica
1	A ligação metálica não é uma ligação real, pois não envolve o compartilhamento de elétrons	(BOO, 1998; ÖZMEN; DEMIRCIOĞLU; DEMIRCIOĞLU, 2009).
2	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).
3	Os metais possuem altos pontos de fusão e ebulição porque possuem características iônicas; a ligação metálica ocorre com o compartilhamento de elétron se é parecida com a ligação iônica; em metais maleáveis, as ligações são fracas.	(ACAR e TARHAN, 2008).
4	Um átomo alumínio se liga a outro átomo alumínio através do compartilhamento de elétrons, obedecendo à regra do octeto.	(COLL; TREAGUST, 2003b).

Quadro 1 – Concepções alternativas de estudantes relacionadas às ligações químicas.

Nesse âmbito, por se tratar de modelos conceituais, que não são facilmente formados por meio de experiências sensoriais, as representações das ligações químicas possuem grande potencial para formação de “modelos mentais” incoerentes (TABER, 1998; COLL; TAYLOR, 2002; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006). Com isso, surgem muitos estudos que buscam estratégias para tentar superar dificuldades relacionadas à compreensão do conhecimento em Ligações Químicas, dentre elas, tem-se: a elaboração de jogos educacionais (BARRETO et al., 2012); o uso e a construção de analogias (CARVALHO; JUSTI, 2005; CRISTINA; JUSTI; OLIVEIRA, 2006; JUSTI; MENDONÇA, 2008); modelos (GRECA; SANTOS, 2005); e mapas conceituais (TRINDADE; HARTWIG, 2012) em sala de aula, entre outros.

Entende-se que os estudos relativos à compreensão dos modelos mentais de estudantes, dentro do processo de aprendizagem em Ligações Químicas, possam e devam fornecer subsídios com informações relativamente gerais e estáveis para a construção de estratégias e sequências de ensino e aprendizagem apropriadas, coerentes e psicologicamente ajustadas para um grupo de aprendizes com características específicas (turno, faixa etária, nível de escolaridade, classe socioeconômica, etc.). Percebe-se, entretanto, que na maioria dos estudos que visam construir estratégias eficazes de ensino, a preocupação com o processo de recolha dessas evidências e com o uso adequado não são compromissos assumidos efetivamente para a melhoria na qualidade do processo pedagógico, perdendo de vista o ideal educacional e ficando exposto um descompasso e incoerência, pois as ações são, na maioria, focadas no estímulo e motivação dos alunos, porém, desvinculadas de uma análise minimamente rigorosa para a tomada de decisões diante da necessidade de aquisição de conceitos e desenvolvimento de competências científicas.

O Uso de Modelos no Ensino

Na Educação em Ciências, várias são as contribuições sobre termo modelo na utilização de representações, com a finalidade de compreender e explicar fenômenos que envolvem conceitos abstratos (GRECA; SANTOS, 2005). O modelo consiste em uma representação da realidade que permite, no campo científico, descobrir e estudar novas relações e características do objeto de estudo, sendo representações provisórias e limitadas, em virtude da complexidade dos fenômenos que buscam apresentar. Outra conceituação para modelo estabelece que é um novo mundo construído para representar fatos/eventos/objetos/processos que acontecem no nosso mundo ou em um mundo imaginário (NUÑES; RAMALHO, 2004; SAMPAIO, 2009).

Na pesquisa em Educação em Ciências e no ensino das Ciências, os tipos de modelos podem ser classificados de acordo com o sentido e uso do termo modelo. Considerando a forma como o modelo é construído, socializado e direcionado, eles podem ser classificados em cinco categorias (KRAPAS et al., 1997): (1) modelo mental; (2) modelo consensual; (3) modelo pedagógico, de ensino ou didático; (4) meta-modelo; e (5) modelagem com objetivos educacionais.

Criar e usar modelos são habilidades necessárias de serem desenvolvidas nos estudantes no ensino de Ciências. A competência específica 2 da área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio, na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), propõe a habilidade EM13CNT201 que contempla a análise e o uso de modelos científicos. Estas são ferramentas de compreensão, interpretação de fenômenos e previsão em nosso mundo. Na Química, modelos conceituais e mentais são usados para visualizar moléculas, simular transformações químicas e comunicar processos usando a linguagem simbólica da Química (BRASIL, 2017).

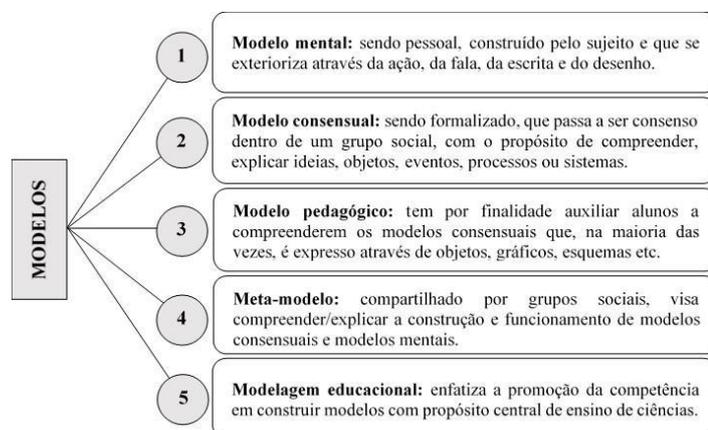


Figura 1 – Classificação dos modelos (KRAPAS *et. al.*, 1997).

Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird

Um dos entendimentos sobre a aprendizagem está relacionado aos “processos mentais superiores”. Dentro da teoria cognitivista dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, esses processos explicam que o raciocínio humano depende de modelos mentais, pois os mesmos podem ser construídos a partir da percepção, imaginação ou compreensão do discurso. Esses modelos são maneiras de representar internamente o mundo exterior (MOREIRA, 1999; JOHNSON-LAIRD, 2001, 2010).

Modelo mental é pessoal, construído pelo sujeito e que se exterioriza através da ação, da fala, da escrita e do desenho. Para Johnson-Laird (2010) e Krapas et al. (1997), modelos mentais são estruturas de conhecimento que os indivíduos constroem para entender e explicar como algo funciona no mundo real (JOHNSON-LAIRD, 2010). As pessoas não captam o mundo diretamente por meio dos estímulos, elas constroem modelos internos a partir do mundo exterior. Dessa forma, os modelos mentais moldam nossas ações e comportamentos, definindo como os indivíduos confrontam e resolvem problemas, ou seja, os modelos mentais condicionam as nossas ações. As “representações proposicionais” são interpretadas como modelos mentais, podendo ser verdadeiras ou falsas em relação a um modelo mental e as imagens seriam correspondentes a uma visão dos modelos mentais (MOREIRA, 1999; JOHNSON-LAIRD, 2001, 2010).

Ressalta-se que os modelos mentais são diferentes dos modelos conceituais, pois os modelos conceituais são produzidos por profissionais de diversas áreas para facilitar a compreensão ou o ensino de sistemas físicos, enquanto os modelos mentais são construções individuais para representação física do mundo real. Assim, objetivou-se, com este estudo, caracterizar modelos mentais que estudantes do Curso de Licenciatura em Química, na disciplina Química Geral, possuem sobre ligações químicas provenientes do conhecimento escolar, ou seja, estudantes calouros, sendo realizada a observação mediada no início do curso. O estudo parte da construção do instrumento, no caso, um teste conceitual, tendo a finalidade de avaliar uma compreensão sobre os conceitos que envolvem as ligações químicas. Desse modo, foram realizadas análises qualitativas dos itens no instrumento, que se tornaram subsídios para serem estimados os prováveis modelos mentais dos licenciandos.

Procedimento Metodológico

A pesquisa foi desenvolvida com estudantes do Curso de Licenciatura em Química (n=34) da Universidade Federal do Amazonas, na cidade de Manaus/AM, que frequentavam a disciplina Química Geral no semestre 2014/1, sendo 22 estudantes do curso diurno e 12 estudantes do curso noturno. A proposta de pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética da Universidade Federal do Amazonas, e foi aprovada mediante o Parecer de nº. 7779.048, que está cadastrado pelo nº. 33871714.6.000.5020 na Plataforma Brasil.

A análise realizada faz distinção entre os licenciandos dos diferentes períodos de funcionamento dos cursos, pois entende-se que, apesar de serem considerados oficialmente cursos distintos por suas peculiaridades, possuem o mesmo objetivo formativo, e com isso, caso eventualmente apresentem diferenças quanto ao domínio conceitual, torna-se necessário e responsável desenvolver ações que promovam a equidade com condições adequadas, diferenciadas e suficientes para que se garanta, ao final de sua formação, o mesmo nível de qualificação entre os cursos de diferentes turnos.

Os dados foram coletados por meio da utilização de um teste no qual os itens foram elaborados com imagens e proposições, sendo 10 itens fechados de múltipla escolha e duas questões abertas, cujo objetivo era conhecer os modelos mentais dos licenciandos. O instrumento foi elaborado com base no estudo de Fernandez e Marcondes (2006), de modo que as categorias de análises estabelecidas são concepções dos estudantes diante a: (I) ligação iônica, covalente e metálica; (II) regra do octeto; (III) geometria das moléculas e polaridade; (IV) energia nas ligações químicas e fenômenos físicos; (V) representação química.

Adotou-se como modelo teórico-metodológico a abordagem qualitativa de pesquisa, sendo desenvolvidas as seguintes etapas: (1) análise das questões presentes no teste, considerando a situação-problema, contexto (relacionado ao cotidiano), habilidade, conteúdo químico, análise taxionômica e modelo didático, comparando-se com as competências presentes na BNCC; (2) buscou-se compreender e explicar o entendimento de um grupo social, licenciandos em Química, sobre os modelos que possuem para explicar os fenômenos físicos e químicos.

Os dados obtidos foram analisados à luz da metodologia de Análise de Conteúdo. De modo geral, esta técnica é organizada em três fases: 1) pré-análise; 2) exploração do material; e 3) tratamento dos resultados, inferência e interpretação (BARDIN, 2011). Entre os procedimentos de análise, foi explorado o índice de dificuldade corrigido dentro da Teoria Clássica dos Testes, ferramentas simples da estatística descritiva como cálculo de médias e desvio padrão via Excel e o suplemento *Action Stat*¹, explorando-se o teste “t” de student para a comparação de médias entre amostras independentes com dados resumidos, nomeadamente, entre grupos de respondentes nos diferentes turnos.

Resultados e Discussão

Com relação aos participantes da pesquisa, 16,6% estavam cursando pela segunda vez a disciplina Química Geral, 10,5% estavam cursando pela terceira vez a disciplina, enquanto a maioria dos participantes (72,9%) estava cursando pela primeira vez. Esses dados pareceram ser relevantes, uma vez que este estudo se propõe a compreender os modelos mentais que licenciandos têm sobre Ligação Química. Dessa forma, como a maioria dos estudantes teve pouco contato com os modelos explicativos utilizados no Ensino Superior, a elaboração do teste sobre modelos mentais foi orientada para verificar os modelos explicativos sobre ligações químicas provenientes do Ensino Médio.

¹ Ver em: <<http://www.portalaction.com.br/content/download-action>>.

Análise dos Itens

Conforme mencionado, o instrumento proposto contém 12 itens que objetivam conhecer o domínio conceitual dos licenciandos sobre Ligação Química e os modelos mentais estáticos relacionados com esses conceitos, portanto, a maioria dos itens do instrumento é relacionada aos conceitos de ligação iônica, covalente e metálica (75%), bem como com as representações químicas (83%) (Tabela 1).

Também é possível observar que um item explora mais de uma categoria, além dos conhecimentos relacionados às ligações químicas típicas, especificamente (Tabela 1). Pode-se verificar que o item 12 foi o mais inclusivo, não contemplando apenas a regra do octeto, e o itens 4 e 8 sendo os menos inclusivos ou mais específicos.

Tabela 1. Distribuição por item dos conceitos relacionados a Ligação Química, abordados no instrumento.

Categorias		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	%
I	Ligação iônica, covalente e metálica	x	x	X		x		X		x	x	x	x	0,75
II	Regra do octeto				x	x		X						0,25
III	Geometria das moléculas e polaridade			X			X				x		x	0,33
IV	Energia nas ligações químicas e fenômenos físicos	x	x						x	x			x	0,42
V	Representação químicas	x	x	X		x	X	X		x	x	x	x	0,83
%		0,60	0,60	0,60	0,20	0,60	0,40	0,60	0,20	0,60	0,60	0,40	0,80	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando a forma textual dos 10 itens objetivos no instrumento, verificou-se que apenas o Item 8 apresenta uma situação-problema relacionada ao “contexto cotidiano” (10%), sendo os demais exclusivamente relacionados ao “contexto científico”. Quanto à abordagem contextual dos enunciados, os itens presentes em um instrumento podem configurar de três formas: (1) convencional; (2) textualizado; e (3) contextualizado. Nesse sentido, destaca-se que predominam “itens convencionais” (80%), visto que os enunciados se limitam à “capacidade de se utilizar o conhecimento aprendido na reprodução de procedimentos rotineiros ou na identificação ou reconhecimento de dados e informações” (RABELO, 2013, p.178), como, por exemplo, saber o número de elétrons que se deve ganhar ou perder um elemento químico “X” com determinado número atômico “Y” (Item 4). Constata-se, ainda, que somente o item 5 menciona aspectos históricos (10%), configurando-se, dessa forma, como um “item textualizado”, porém, os aspectos históricos abordados não contribuem com informações para resolução do item. Com relação aos “itens contextualizados”, apenas o item 8 aborda informações do cotidiano que são relevantes para a análise e resolução do item (10%) (RABELO, 2013).

Analisando os itens do instrumento na perspectiva das “competências” e “habilidades” de acordo com a BNCC, observa-se que os itens podem ser relacionados com Competência Geral 1 da Educação Básica, onde foram valorizados os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico para entender e explicar a realidade (BRASIL, 2017).

Item	Competências Relacionadas	Habilidades
2	Competência 1: Analisar fenômenos naturais e [...], com base nas relações entre matéria e energia, [...].	(EM13CNT101) Analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, [...].

10	Competência 2: Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, [...].	(EM13CNT201) Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para [...].
	Competência 3: Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico [...].	(EM13CNT307) Analisar as propriedades específicas dos materiais [...].

Quadro 2 – Relação entre os itens do instrumento e as Competências Específicas da BNCC.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ressalta-se que os itens não se relacionam com a competência em sua totalidade, visto que os itens propostos não estão situados em contextos mais amplos para além do contexto científico, limitando-se à aprendizagem cognitiva e seus níveis. Da mesma maneira, pode-se inferir acerca da relação dos itens com as três Competências Específicas relativas à área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Quadro 2). No item 2, as alternativas mostram possíveis modelos de um sistema físico que representa a evaporação do metanol. O modelo conceitual correto desse sistema físico representa o distanciamento entre as moléculas do metanol, visto que, na evaporação, as forças intermoleculares são enfraquecidas, havendo apenas o distanciamento entre as moléculas, e não o rompimento das ligações no metanol.

Tendo como objetivo que os estudantes possam compreender modelos de sistemas físicos, a Competência Específica 2, associada à habilidade EM13CNT201, sugere uma alternativa para que as aulas de Química devam explorar as capacidades de análise e utilização de modelos científicos das Ligações Químicas, associando a situações reais e investigativas, adotando uma perspectiva histórica e evolucionista quanto à evolução da Vida, da Terra e/ou do Cosmo, para contribuir no desenvolvimento da respectiva habilidade.

Com relação ao item 10 do instrumento, observa-se que o conteúdo químico abordado relaciona propriedades específicas dos materiais à estrutura das moléculas, solicitando que o estudante analise as estruturas de seis substâncias, relacionando-as com a polaridade. Para o desenvolvimento dessa habilidade, o estudante precisa dominar o conceito de polaridade, relacionando-o com os modelos conceituais das representações geométricas espaciais das moléculas. Nesse sentido, entende-se que o item 10 está relacionado à Competência Específica 3.

Quanto às dimensões de complexidade do conhecimento e dos níveis do domínio cognitivo (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001; TREVISAN; AMARAL, 2016), a análise taxonômica caracteriza o teste com uma finalidade predominante de avaliar a recordação de fatos (53%) e conceitos (32%), em detrimento da compreensão e aplicação sobre os conceitos envolvidos (5%), na qual exercem uma função pedagógica mais relevante no desenvolvimento de competências científicas. Apesar disso, pode-se afirmar que as evidências observadas caracterizam alguns dos conhecimentos factuais fundamentais a serem recordados em Ligações Químicas, que, por sua vez, contribuem como conhecimentos necessários a serem associados com a compreensão dos conceitos envolvidos nesse âmbito e, assim, favorecer o desenvolvimento dos modelos mentais representativos cientificamente adequados, bem como em uma mobilização de recursos cognitivos mais rica e inclusiva.

Tabela 2. Análise dos itens do instrumento segundo a Taxonomia Revisada de Bloom (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

Processos Cognitivos	Dimensões do Conhecimento			
	Factual	Conceitual	Processual	Metacognitivo
Lembrar	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12 (53%)	1, 3, 4, 8, 9, 12 (32%)	-	-
Entender	-	9 (5%)	-	-
Aplicar	4 (5%)	1 (5%)	-	-
Analisar	-	-	-	-
Avaliar	-	-	-	-
Criar	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pelos autores.

No item 1, por exemplo, pede-se que o estudante “identifique a figura que melhor representa a distribuição das partículas de soluto e do solvente em uma solução aquosa diluída de cloreto de sódio”. Diante disso, o estudante precisa lembrar do fato que, na ligação covalente, o dipolo permanente da água informa que os átomos de hidrogênio possuem carga positivo e o oxigênio negativo. Também, precisa lembrar o conceito de atração e repulsão entre cargas elétricas (Princípio Fundamental da Eletrostática: Atração e Repulsão), e não necessariamente entender o porquê de existir essa atração ou repulsão. Lembrando do fato que o cloreto de sódio é um composto baseado na ligação iônica entre o cátion sódio e o ânion cloro, mas que irá se dissociar após misturar com a água devido às interações íons-dipolo; entende-se que é uma forma de aplicar o conceito (5%) relacionado ao Princípio Fundamental da Atração e Repulsão (ATKINS; JONES, 2012), ao associar a existência das carga preexistentes. Dessa maneira, entende-se que o estudante, além de lembrar fatos e conceitos, precisa relacioná-los para aplicar o conhecimento e, assim, alcançar uma tomada de decisão minimamente plausível e coerente ao assinalar a resposta correta.

Evidências Cognitivas sobre os Modelos Mentais dos Licenciandos

As metodologias utilizadas para investigar modelos mentais estão baseadas no princípio de que as representações mentais das pessoas podem ser modeladas a partir da escrita, do desenho, de seus comportamentos e verbalizações (KRAPAS, 1997), bem como emergir evidências cognitivas dessas representações a partir da tomada de decisão discentes diante de itens objetivos de múltipla escolha em um teste, como no caso.

Enfatiza-se que o objetivo do instrumento foi levantar evidências dos modelos mentais dos licenciandos sobre ligação química, sendo 22 do turno diurno e 12 do noturno, em especial, sendo mais apropriado na recordação de fatos e conceitos relacionados a esse conhecimento, conforme foi afirmado anteriormente. Diante disso, a avaliação de desempenho buscou verificar a preexistência desses conhecimentos, associando com o parâmetro psicométrico clássico do índice ou nível de dificuldade baseado nas incidências dos acertos dos itens (Figura 2) de 1-8, 10 e 12, caracterizando de forma heterogênea o instrumento ao mesclar itens de múltipla escolha com itens de questões abertas (9 e 11).

A análise observa a comparação do percentual de acertos para licenciandos do diurno e noturno – Índice de Dificuldade do Diurno (IDD) e Índice de Dificuldade do Noturno (IDN), bem como o percentual de acertos do total de respondentes – Índice de Dificuldade Diurno e Noturno (IDD/N). É importante mencionar que o “guessing” do item (probabilidade de o estudante acertar o item ao acaso ou “chute”) como limite inferior de desempenho médio para os itens 1-8 e 9 corresponde a 20% (cinco alternativas), enquanto para o item 12 corresponde a 25% (quatro alternativas). O *limite superior* estimado e admitido para o limiar mínimo de domínio de cada item ou *Índice de Dificuldade Ideal* (ID_{ideal}) para o item está a meio caminho entre o nível de *chance ou probabilidade de acerto ao acaso* ($P(A_a) = \frac{1}{k}$, onde k é o número de alternativas) e 1, ou seja: $ID_{ideal} = \frac{\frac{1}{k} + 1}{2}$ (Para itens de 1-8 será de 60%, 10 e 12 será de 62,5%). O “guessing” do teste estimado foi para 3 itens ($9 \times 0,20 + 1 \times 0,25 = 2,05 \sim 3$ itens), ou seja, a probabilidade de acerto aleatório são de 3 itens. Nessa mesma perspectiva, o escore médio mínimo esperado para um limiar de domínio diante do teste são de 7 acertos.

O índice de dificuldade considerado foi o *corrigido* (ID_{corr}), sendo mais preciso e fiável para as avaliações. Diante disso, pode-se dizer que as *Respostas Aleatórias* (Ra) se refere a

soma dos erros ou erro total (e) (no caso, é a soma dos distratores ou alternativas erradas ou subtração entre as respostas aleatórias e os acertos aleatórios: $Ra - Aa$; ou produto entre as respostas aleatórias e a probabilidade dos erros: $Ra \times P(e)$) com os acertos aleatórios (Aa), ou a razão dos erro total pela probabilidade de erros ($P(e) = 1 - \frac{1}{k}$) (de modo análogo ao acerto aleatório), ou seja: $Ra = e + Aa = \frac{e}{P(e)} = \frac{Aa}{P(Aa)}$. O número de acertos corrigidos (A_{corr}) no caso é a subtração entre os acertos brutos e os acertos aleatórios ($A_{corr} = A - Aa$), e o Índice de Dificuldade Corrigido considerado, sendo: $ID_{corr} = \frac{A_{corr}}{n - NNR} = p - \frac{q}{k-1}$ (sendo $n - NNR$ o número de respostas válidas, p o percentual de acertos brutos (ID) e q o percentual de erros brutos).

De modo geral, comparando-se o percentual de acertos dos itens para os dois grupos de respondentes, observa-se que os licenciandos do curso diurno tiveram melhor desempenho, enquanto do curso noturno maior dificuldade em responder todos os itens, sendo essa diferença significativa segundo o teste t^2 para um nível de significância de 5%. Essa perspectiva mostra que, em média, o perfil dos alunos do turno diurno remete a modelos mentais mais estruturados diante da recordação do conhecimento factual de ligações químicas. Tem-se como referência a seguinte classificação para o índice de dificuldades:

Tabela 3. Classificação para o Índice de Dificuldade.

Tipologia do item	Número aproximado	Limite aproximado dos itens de dificuldade
Muito fáceis	10%	de 0,75 a 0,95
Fáceis	20%	de 0,55 a 0,74
Normais	40%	de 0,45 a 0,54
Díficeis	20%	de 0,25 a 0,44
Muito díficeis	10%	de 0,05 a 0,24

Fonte: Cerdá (1984); Erthal (1987).

Em média, o desempenho do teste para grupo diurno foi classificado como fácil e para o noturno sendo difícil. As diferenças no desempenho entre níveis de escolaridade e turnos são resultados esperados e que reforçam a necessidade de professores formadores repensarem sobre a eficiência de suas práticas educativas, levando em consideração essas diferenças, visando, com isso, uma melhoria na qualidade da formação de profissionais docentes na educação básica em Química.

Tabela 4. Índices de Dificuldades Corrigidos e Classificações entre os grupos do turno Diurno, Noturno e Diurno/Noturno.

ITENS	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	TESTE
IDD/N	0,30	0,19	0,49	0,52	0,45	0,71	0,74	0,78	0,34	0,60	0,51
Classif	difícil	Muito Díficeil	Normal	normal	normal	fácil	Fácil	muito fácil	difícil	fácil	Normal
IDD	0,32	0,20	0,66	0,55	0,55	0,83	0,83	0,83	0,49	0,70	0,59
Classif	difícil	Muito Díficeil	Fácil	fácil	Fácil	muito fácil	muito fácil	muito fácil	normal	fácil	Fácil
IDN	0,27	0,17	0,17	0,48	0,27	0,48	0,58	0,69	0,06	0,33	0,35
Classif	difícil	Muito Díficeil	Muito Díficeil	normal	difícil	normal	Fácil	fácil	Muito Díficeil	difícil	Díficeil

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para os dois grupos, os itens 6, 7 e 8 foram o que os estudantes demonstraram maior percentual de acertos, ou seja, melhor desempenho, demonstrando domínio do conteúdo.

² A estatística do teste é 3,217984. Como o p-valor é 0,002953884 (<0,05), então, ao nível de significância de 5%, rejeitamos a hipótese nula de igualdade das médias das duas populações.

Destaca-se o item 8 – percentual de acertos geral 78% (IDD/N) - que aborda um fenômeno físico e aproxima do cotidiano do estudante: “O que ocorre quando a água entra em ebulição?”; por essa aproximação do *contexto cotidiano* do estudante, pode-se inferir que a aprendizagem desse conteúdo possa ter sentido e significado na estrutura cognitiva desses licenciandos. Os itens 6 e 7 abordam os conteúdos geometria das moléculas e regra do octeto, que apresentam percentuais de acertos geral de 71% e 74% (IDD/N), respectivamente. No que tange ao conteúdo do item 6, geralmente, os estudantes demonstram muita dificuldade de compreensão e visualização tridimensional (COSTA-BEBER; MALDANER, 2010). Todavia, como item 6 consistia em *lembrar um fato*, pode ser que o momento em que o instrumento foi aplicado, os estudantes já tivessem estudado esse conteúdo em Química Geral.

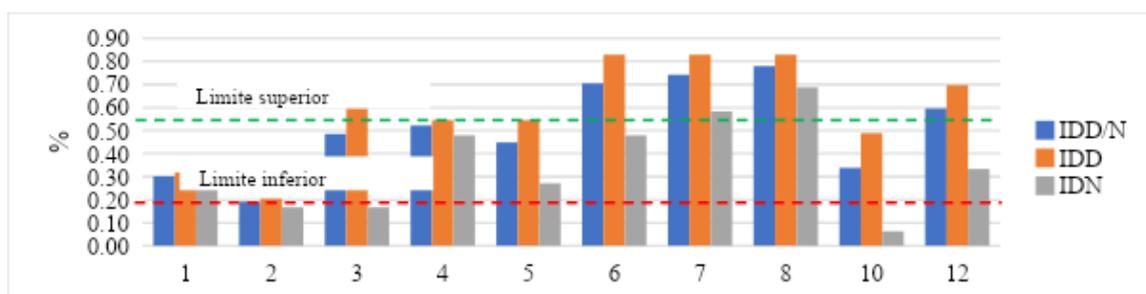


Figura 2. Comparação das dificuldades (percentuais de acertos) dos itens do instrumento, tendo a linha de “guessing” dos itens como referência de acertos aleatórios.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em relação ao item 7 (fácil – D/N), que diz respeito à regra do octeto, solicita-se que o respondente “assinale a opção que mostra somente moléculas que não obedecem” à regra. De modo geral, os estudantes relacionam a estabilidade química à regra do octeto. Abordando esse mesmo conteúdo, o item 4 (normal – D/N), com 52% de acertos, mostra baixa compreensão dos estudantes sobre os conceitos e como aplicar fatos relacionados ao conteúdo. Pesquisas afirmam que existe uma cultura muito forte e dificilmente abalada de que a regra do octeto é a explicação para a estabilidade atômica, demonstrando que alunos associam a estabilidade dos átomos e a formação das ligações, exclusivamente, à configuração eletrônica do último nível de energia, em que este deve possuir dois ou oito elétrons, ignorando os aspectos energéticos que explicam a estabilidade e, inclusive, podem contradizer a regra do octeto (CRISTINA; JUSTI; OLIVEIRA, 2006).

Os itens 1 e 2 (difícil e muito difícil para todos os grupos) mostram o menor percentual de acertos dos dois grupos – 32% curso diurno (IDD) e 27% curso noturno (IDN), no caso, o distrator mais atrativo no grupo geral para o 1E (26%) e 2E (26%), referentes aos equívocos relacionados à discordância com o princípio da Eletrostática e com o fato de o soluto não ter se diluído pelas interações íon-dipolo, e, com a crença de que, na evaporação, rompem todas as ligações do metanol, isolando todos os átomos. No item 10 (muito difícil – N), o menor percentual de acertos, 6%, para os respondentes do curso noturno, sendo o distrator mais atrativo no grupo geral o 10D (21%), que se refere à apolaridade das moléculas NH_3 e CO_2 .

Os itens 1, 2, 9, 11 e 12 abordam representações que utilizam a simbologia química para expressar modelos didáticos que explicam entidades químicas, ou seja, representação de conceitos científicos. Os itens 1 e 2 foram os de maior dificuldade entre os licenciandos, isso demonstra dificuldade em interpretar e representar estruturas químicas considerando propriedades físicas, como as atribuições de cargas elétricas, comportamento dessas cargas, rompimento de interações intermoleculares, entre outras. Quando da representação das ligações

químicas e a relação com a polaridade das moléculas no item 12, os licenciandos do diurno obtiveram 69,7%, enquanto os licenciandos do noturno apresentaram 33,3%, resultado baixo e que demonstra o baixo domínio representacional do licenciando.

Os itens 9 e 11 são questões abertas que abordam representações de interações entre entidades químicas em solução aquosa – interação entre soluto e solvente – e relação entre um modelo estrutural e ligação química, respectivamente. Com relação ao item 9, seis licenciandos deixaram em branco, sendo cinco do curso diurno e um do curso noturno. Esse item apresentou baixo percentual de acertos para os dois grupos de participantes, 36,4% licenciandos do curso diurno e 33,3% do curso noturno. Os licenciandos tiveram dificuldades de explicar o modelo de ionização do ácido clorídrico (HCl) em água (H₂O), similarmente ao item 1, que aborda a dissolução do cloreto de sódio (NaCl) em água (H₂O). Isso implica que os licenciandos provavelmente possuam elementos incoerentes dentro de seus modelos diante desse fenômeno, pois desconsideraram a natureza elétrica da matéria e demonstraram desconhecimento ou despreocupação com a orientação das moléculas da água em relação aos íons sódio e cloro. Estudos destacam que os estudantes, mesmo afirmando que a dissolução do cloreto de sódio tenha ocorrido na água, não entendem que o fenômeno é causado pela interação entre as duas substâncias (ECHEVERRÍA, 1996), entendendo que seja a união entre sal e água, porém os estudantes não explicam como ocorre essa união, ou seja, eles têm dificuldade de expressar seus modelos mentais (GIBIN, 2009).

No item 11, de modo geral, os licenciandos relacionaram a ligação covalente e iônica aos respectivos modelos devidamente, apresentando o maior percentual de acertos. Todavia, tiveram dificuldades em relacionar a ligação metálica e o respectivo modelo (Tabela 5), comparando os percentuais entre os modelos de dispersão dos elétrons da ligação metálica e o modelo de estrutura cúbica de um sólido. Foi possível observar que modelo de estrutura cúbica de um sólido apresentou menor percentual tanto para os licenciandos do diurno como para os licenciandos do noturno. Isso pode estar relacionado ao uso da analogia do mar de elétrons para explicar a ligação metálica. No ensino médio, o único modelo apresentado aos estudantes para explicar a formação da ligação metálica é o modelo fundamentado na analogia do “mar de elétrons”. Nesse modelo, átomos de metais se movimentariam livremente entre seus cátions, como a água em um mar, no qual tais íons estariam submersos (CARVALHO; JUSTI, 2005).

Tabela 5. Relação entre o tipo de ligação química e o modelo representativo apresentado por licenciandos em Química.

Tipo de Ligação	% (LD)	% (LN)
Modelo de ligação covalente	86,4	91,7
Modelo de ligação iônica	86,4	66,7
Modelo de ligação metálica (sólido)	45,5	33,3
Modelo de ligação metálica (dispersão de elétrons)	68,2	66,7

Legenda: LD: licenciandos do curso diurno; LN: licenciandos do curso noturno.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os modelos mentais expressados pelos pesquisados não são nítidos e nem elegantes, isso deriva da natureza mal elaborada, incompleta e difusa da estrutura cognitiva, tornando-se um desafio para o pesquisador buscar a compreensão desses modelos (MOREIRA, 1996; JOHNSON-LAIRD, 2001, 2010).

Considerações Finais

O instrumento objeto de estudo e análise deste trabalho consiste em uma ação inicial no processo de investigação sobre os modelos mentais de licenciandos em Química sobre Ligação

Química, na formação inicial de professores. O instrumento foi aplicado em dois cursos de Licenciatura em Química – curso diurno e noturno – de uma Instituição de Educação Superior da Região Norte do país, nas turmas da disciplina Química Geral. Nesse sentido, ressalta-se que nessas turmas também havia alguns licenciandos veteranos que estavam cursando a disciplina, sendo a maioria dos licenciandos ingressantes (72,9%).

Destaca-se a importância da tomada de consciência acerca do nível e recursos cognitivos dos estudantes, seja para iniciar uma pesquisa em Ensino, seja para regular a evolução das aprendizagens dos estudantes. Para tanto, alguns cuidados precisam ser tomados na elaboração do instrumento, como: (1) coerência com a(s) teoria(s) norteadora(s) do processo de ensino e aprendizagem e/ou da pesquisa – Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird; (2) conteúdo químico – Ligação Química; (3) coerência com a forma do item – convencional, textualizada, contextualizada; (4) coerência com o nível e recursos cognitivos – competências e habilidades; processos cognitivos e dimensões do conhecimento. A esse respeito, o instrumento necessita ser repensado e aprimorado, visto que os itens, em maioria, não eram contextualizados, com fraca relação com as competências e habilidades, e com foco nos processos cognitivos de níveis mais baixos relacionados, em maioria, com conhecimento de fatos – lembrar –, ou seja, foco na memorização de fatos. Com relação ao conteúdo Ligação Química e a Teoria dos Modelos Mentais, o instrumento mostrou-se coerente, porém a não observação ou pouca importância atribuída aos outros aspectos supramencionados, na elaboração do instrumento, interferem na qualidade deste e na recolha das informações desejadas.

Do exposto, ao analisar as evidências de modelos mentais dos licenciandos, observou-se que o item do instrumento em que eles demonstraram maior domínio do conteúdo foi aquele que apresentava o conhecimento mais próximo do cotidiano, mesmo assim, apresentaram um índice mediano de 78%. Conforme mencionado anteriormente, a não contextualização dos itens demonstra um distanciamento do cotidiano do estudante, podendo ocasionar problemas na recolha das ideias prévias acerca do conteúdo químico de interesse. Os licenciandos apresentaram dificuldades em responder a maioria dos itens, principalmente os itens que apresentavam representações de algum fenômeno e/ou modelo explicativo de entidades submicroscópicas, desconsiderando a representação de cargas elétricas, a interação entre cargas elétricas, o rompimento de interações intermoleculares, confundindo com o rompimento de ligações. Isso demonstra que os modelos mentais expressados não são nítidos e nem elegantes, isso deriva da natureza mal elaborada, incompleta e difusa da estrutura cognitiva, apontando para a organização de atividades didáticas que utilizem recursos visuais que possibilitem a compreensão dos modelos explicativos da composição e comportamento da matéria no nível submicroscópico.

Por fim, os licenciandos do curso noturno demonstraram maior falta de domínio sobre o conteúdo Ligação Química. A esse respeito, é preciso considerar as características desses graduandos – individual, pessoal, socioeconômica, motivação e interesses, proveniência da educação básica, entre outras – que interferem na aprendizagem, necessitando os cursos de formação inicial repensarem as práticas educativas formativas desses profissionais, bem como considerarem as demandas formativas da Educação Básica e os contextos reais de atuação do futuro profissional.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes.

À Universidade Federal do Amazonas – Ufam.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – Fapeam.

À Coordenação e aos licenciandos do Curso de Licenciatura em Química da Ufam.

Referências

- ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, K. R. A. **Taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives**. New York: Longman, 2001.
- ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de Química – Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. 6ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BARRETO, P. et al. Os jogos educacionais de cartas como estratégia de ensino em química. **Química Nova Na Escola**, v. 34, n. 4, p. 248–255, 2012.
- BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Base Nacional Comum Curricular (3ª. versão)**. Brasília-DF: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2017.
- CARVALHO, N.; JUSTI, R. Papel da analogia do “mar de elétrons” na compreensão do modelo de ligação metálica. **Enseñanza de Las Ciencias**, 2005. Número Extra. Disponível em:
<https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp228papana.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2017.
- CERDÁ, E. **Psicometría General**. 3ª. ed. Barcelona: Barcelona Herder, 1984.
- CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 4ª. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2006.
- COLL, R. K.; TAYLOR, N. Mental models in chemistry: senior chemistry students mental models of chemical bonding. **Chemistry Education Research Practice**, v. 3, n. 2, p. 175–184, 2002.
- COSTA-BEBER, L. B.; MALDANER, O. A. Níveis de Significação de Conceitos e Conteúdos Escolares Químicos no Ensino Médio: Compreensões Sobre Ligações Químicas. **Vidya**, v. 22, n. 2, p. 97–114, 2010. DOI: <https://doi.org/10.37781/vidya.v29i2.330>.
- CRISTINA, P. C. M.; JUSTI, R.; OLIVEIRA, M. M. de Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 6, n. 1, p.1-13, 2006.
- DE POSADA APARICIO, J. Concepciones de Los Alumnos de 15-18 Anos Sobre La Estructura Interna de La Materia En El Estado Sólido. **Investigación y Experiencias Didáticas**, v. 11, n. 1, p. 12–19, 1993.
- ECHEVERRÍA, A. R. Como os estudantes concebem a formação de soluções. **Química Nova na Escola**, n. 3, mai., 1996.
- ERTHAL, T. C. **Manual de Psicometria**. Rio de Janeiro: Zahar, 1987.

FERNANDES, L. S.; CAMPOS, A. F. Pesquisas em Periódicos Nacionais e Internacionais Sobre o Ensino-Aprendizagem de Ligação Química. **Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p. 153-171, 2012.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos estudantes sobre ligações químicas. **Química Nova na Escola**, n. 24, nov., p. 20-24, 2006.

FERREIRA, I. M.; CAMPOS, A. F.; FERNANDES, L. S. Concepções Alternativas dos Alunos Sobre Ligação Metálica. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 9, Girona, 2013. **Anais [...]**. Disponível em: <<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/viewFile/307883/397851>>. Acesso em: 04 abr. 2020.

GIBIN, G. B. **Investigação sobre a construção de modelos mentais para o conceito de soluções por meio de animações**. 2009. 260f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, 2009.

GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da Generalização das Estratégias de Modelação em Ciências: O caso da Física e da Química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 31-46, 2005.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models and human reasoning. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 43, p. 18243–18250, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1012933107>.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models and deduction. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 5, n. 10, p. 434-442, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01751-4](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01751-4).

JUSTI, R.; MENDONÇA, P. C. C. Usando analogias com função criativa: uma nova estratégia para o ensino de química. **Educación Química**, v. 1, p. 24–29, 2008. DOI: <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.4>.

KRAPAS, S. et al. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, p. 185-205, 1997.

MELO, M. R.; LIMA NETO, E. G. L. Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 112–122, 2013.

MILARÉ, T. Ligações iônica e covalente: relações entre as concepções dos estudantes e dos livros de Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, Florianópolis, 2007. **Anais [...]**. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/vienpec/apresenta0.html>. Acesso em: 14 nov. 2009.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

NICOLL, G. A report of undergraduates' bonding misconceptions. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 7, p. 707–730, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690010025012>.

NUÑES, I. B.; RAMALHO, B. L. **Aprendizagem das ciências naturais e da matemática: o novo ensino médio**. Porto Alegre: Sulina, 2004.

RABELO, M. **Avaliação Educacional: fundamentos, metodologia e aplicações no contexto brasileiro**. 1ª.ed. Rio de Janeiro: SBM, 2013.

SAMPAIO, F. F. A modelagem dinâmica computacional no processo de ensino-aprendizagem: algumas questões para reflexão. **Ciência em tela**, v. 2, n. 1, 2009.

SILVA, J. C. O.; SILVA, F. R. G.; OLIVEIRA, Ó. A. Problemas de Aprendizagem por Estudantes de Graduação Sobre Ligações Químicas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 3, Ponta Grossa, 2012. **Anais [...]**. Disponível em: <<http://www.sinct.com.br/2012/index.php?id=250>>. Acesso em: 16 out. 2013.

SILVA, J. **Problemas de aprendizagem por Estudantes de Graduação Sobre Ligações Químicas**. 2010. 93f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/17672/1/JulioCOS DISSERT.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

TABER, K. S. An alternative conceptual framework from chemistry education. **International Journal of Science Education**, v. 20, p. 597-608, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1080/0950069980200507>.

TAN, D.; TREAGUST, D. **Evaluating students' understanding of chemical bonding**. 1999. Disponível em: <<https://155.69.97.37/handle/10497/14150>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

THOUIN, M. **Ensinar as Ciências e a Tecnologia nos Ensinos Pré-Escolar e Básico 1º Ciclo**. Lisboa: Instituto Piaget, 2004. (Coleção Horizontes Pedagógicos).

TREVISAN, A. L.; AMARAL, R. G. Taxionomia revisada de Bloom aplicada à avaliação: um estudo de provas escritas de Matemática. **Ciência & Educação**, v. 22, n. 2, p. 451-464, 2016.

TRINDADE, J. O.; HARTWIG, D. R. Uso Combinado de Mapas Conceituais e Estratégias Diversificadas de Ensino: Uma Análise Inicial das Ligações Químicas. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 2, p. 83–91, 2012.