



MODELOS ATÔMICOS: CORRELAÇÕES ENTRE ASPECTOS REPRESENTACIONAIS E A ESSÊNCIA REALISTA DO CONHECIMENTO

ATOMIC MODELS: CORRELATION BETWEEN REPRESENTATIONAL ASPECTS AND THE REALISTIC ESSENCE OF KNOWLEDGE

Augusto César Lima Moreira  

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

✉ augusto.moreira@ufpe.br

Djaneide Marinalva da Silva  

Secretaria de Educação de São Lourenço da Mata - PE (SEDUC)

✉ djaneidemari@gmail.com

Deivisson Silva Mota  

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

✉ deivissonmota@gmail.com

Daniella Rodrigues de Farias  

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

✉ daniella.farias@ufpe.br

RESUMO: O fenômeno do conhecimento, processo que envolve a interação entre sujeito e objeto, vem se tornando uma importante linha de investigação na área de ensino das ciências. Em química, a apreensão da realidade (um átomo ou uma molécula, por exemplo) em escala nanoscópica é, necessariamente, mediada por modelos teóricos idealizados, muitos dos quais possuindo entidades abstratas e não sensíveis à percepção humana. Com base neste fato, esta pesquisa teve como objetivo realizar uma análise do grau de realismo atribuído a essas entidades por parte de professores de química em atuação na educação básica. Sob essa perspectiva quinze professores de química, que atuam em salas de aula do Ensino Médio em escolas lotadas na Gerência Regional de Educação Metropolitana Sul, foram analisados de forma individual, por meio de questionários e entrevistas semiestruturadas. Tais levantamentos se deram em relação aos aspectos epistemológicos relativos à essência do conhecimento envolvendo modelos atômicos (Dalton, Bohr e Schrodinger) e ligações químicas entre dois átomos. Os resultados evidenciam que para um grupo não desprezível de professores, não há distinção entre modelos teóricos e realidade, o primeiro muitas vezes sendo considerado um análogo estrutural fiel ao objeto de estudo (átomos e moléculas). Tal fato permite inferir que, sem que haja uma mediação epistemológica entre teoria e realidade durante a formação docente, corre-se o risco de cairmos no realismo ingênuo frente às teorias o que pode gerar obstáculos epistemológicos na aprendizagem de temas correlatos.

PALAVRAS-CHAVE: essência do conhecimento, modelo conceitual, modelos atômicos.

ABSTRACT: The phenomenon of knowledge, a process that involves the interaction between subject and object, has become an important issue of research in science education. In chemistry, the apprehension of reality (an atom or a molecule, for example) on a nanoscopic scale is necessarily mediated by idealized theoretical models, many of them with abstract entities that and are not sensitive to human's perception. Based on this fact, the research aimed to carry out an analysis of how real these entities are, for chemistry

teachers working in basic education. From this perspective, fifteen chemistry teachers, that works in a high school located in the Regional Management of Metropolitan Education South, were individually analyzed through questionnaires and semi-structured interviews. Such research is an attempt to map teacher's epistemological aspects related to the essence of knowledge involving atomic models (Dalton, Bohr and Schrodinger) and chemical bonds between two atoms. The results show that for a significant group of teachers, there is no distinction between theoretical models and reality, the former often being considered a structural analogue faithful to the object of study (atoms and molecules). This fact allows us to infer that, without an epistemological mediation between theory and reality during teacher education, theories tend to be interpreted as perfect representation of the reality, which can generate difficulties for learning related themes.

KEY WORDS: essence of knowledge, representational aspects, real object.

Introdução

As investigações em ensino de Química vêm crescendo de forma moderada no Brasil. Alguns destes estudos têm procurado entender tanto as dificuldades encontradas ao se estabelecer relações entre os níveis macroscópico, microscópico e simbólico (Johnstone, 1991; Wartha, 2013; Sangiogo, 2014; Locatelli, 2016) quanto possíveis correlações entre epistemologia e representações envolvendo modelos de átomos e moléculas (Da Silva, 2012; Souza, 2012; Kavalek, 2016). De acordo com Moreira e Massoni (2011) o ensino de Química, muitas vezes, ocorre mediante o uso de modelos teóricos que trazem consigo apenas uma parte da realidade exigindo que a mediação dos conhecimentos em química utilize representações idealizadas tanto para os objetos de conhecimento quanto para os fenômenos envolvendo os mesmos. Neste processo simplifica-se o mundo real por meio de conceitos científicos sobre este. Para Moreira e Massoni (2011):

A construção de um modelo começa com a esquematização e simplificação da realidade. O objetivo é representar os principais traços do objeto ou fato — etapa que resulta nos modelos conceituais ou objetos — modelo. Estes têm a função de buscar soluções exatas, que são mais fáceis de tratar, porém com a vantagem de abrir caminho para a abordagem de problemas mais complexos. O passo seguinte é construir o modelo teórico que tenta especificar o comportamento ou os mecanismos internos do objeto-modelo (p. 159).

Bunge (1974, p. 16) define modelo teórico como “[...] um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo” onde o objeto-modelo (ou modelo conceitual) pode ser uma representação de algo (fenômeno ou objeto) real e, portanto, uma simplificação deste. Assim, não só em Química, mas nas ciências exatas de forma geral, as aulas são permeadas de objetos-modelo com os quais professores e estudantes buscam representar entidades ou fenômenos, muitos dos quais, são diretamente (no sentido visual, por exemplo) inacessíveis aos sentidos. Como boa parte dessas representações envolve imagens, o caráter epistemológico acerca da essência (ou grau de realismo) dessas imagens, podem passar incólumes pelos docentes. Conforme afirma Silva et al. (2006): “[...] as imagens são pouco exploradas em sala de aula, o que leva a inferir que boa parte dos professores considera que as imagens falam por si só, ou transmitem um único sentido (p. 20)”. Da inquietação gerada pela afirmação anterior, surge a seguinte indagação: em essência, qual é o grau de realidade atribuído por professores de química acerca das representações envolvendo átomos, moléculas e ligações químicas? Ou ainda, é possível pensar sobre como a dimensão epistemológica dos modelos conceituais em

química é percebida pelos docentes de química?

A partir destas indagações, esta pesquisa se propôs a fazer uma análise que envolveu a percepção de professores de Química do Ensino Médio da Região Metropolitana do Recife (atuantes na educação básica), em relação ao uso de objetos-modelo (ou modelos conceituais), buscando identificar o grau de realismo (ou essência do conhecimento) dessas representações em um conteúdo específico de química: estrutura atômica e molecular. Para este fim, kits moleculares (com esferas representando átomos e bastões representando as ligações químicas) foram utilizados buscando identificar e compreender — por meio de questionários e uma entrevista semiestruturada — a relação entre essas representações e a suposta realidade descrita por elas.

Como veremos, a partir daí, tem-se tanto a possibilidade de delinear como surgem algumas das dificuldades epistemológicas relacionadas com a essência do conhecimento produzido com o auxílio destes modelos conceituais, como os obstáculos à construção do conhecimento gerados pela ausência de mediação epistemológica das representações e dos recursos didáticos usados nos processos de ensino aprendizagem referentes a tais conteúdos. Nessa perspectiva, este trabalho tem como objetivo identificar possíveis correlações entre as representações externas envolvendo acerca do tema átomos e moléculas — utilizadas em livros e kits didáticos — o seu grau de realismo e como este último pode gerar modelos/concepções alternativas na estrutura cognitiva dos pesquisados. Para isso, primeiramente deve-se identificar tais modelos alternativos para, em seguida, analisarmos o grau de realidade desses modelos. Por fim, de posse dos resultados pode-se propor estratégias para que licenciados e licenciandos passem a refletir sobre como os objetos-modelos, em suas diversas formas representacionais (imagens e kits didáticos), podem se epistemologicamente mediados, em sua prática docente.

Diante do exposto, a estrutura do presente trabalho consiste em: apresentar os referenciais teóricos que foram utilizados na análise dos resultados na seção 2; descrever a metodologia utilizada na seção 3; mostrar a análise dos dados na seção 4 e, por fim, realizar as considerações finais na seção 5.

Contribuições das Representações (Objeto-Modelo) na Construção do Conhecimento

Lopes e Macedo (2011) definem o conhecimento como sendo “um conjunto de concepções, ideias, teorias, fatos e conceitos submetidos às regras e aos métodos consensuais de comunidades intelectuais específicas” (p. 71, apud Andretta, 2013 p. 97). Em se tratando de objetos em escala nanométrica — como átomos e moléculas, por exemplo — em que muitas das entidades que compõem o modelo teórico (função de onda, por exemplo) sequer são diretamente mensuráveis, há de se recorrer, necessariamente, para as representações a fim de se transformar um conceito abstrato em algo supostamente real. O termo *supostamente* traz consigo uma crença tácita da comunidade científica de que parte da realidade, ainda que inacessível com os aparatos tecnológicos atualmente disponíveis pode ser alcançada pela razão. Esse processo — de construção de um análogo estrutural domundo através da razão — longe de ser infalível, ao menos permite que haja ensino e aprendizagem de conceitos abstratos por meio de significados compartilhados e dotados de representações inteligíveis. Mas como se dá esse processo?

Segundo Bunge (1974) a apreensão de um objeto (ou um fenômeno) real, paradoxalmente, começa com uma esquematização desse objeto/fenômeno. Tal processo consiste em “retirar” do objeto real, características que julgamos sem importância, acrescentando hipóteses (não-observáveis) precisas, criando-se assim os objetos-modelo ou modelos conceituais. Segundo Bunge (1974), nesse processo de criação:

Extraem-se os traços comuns de indivíduos ostensivamente diferentes, agrupando-os em espécies (classes de equivalência). [...]. É o nascimento do objeto-modelo ou modelo conceitual de uma coisa ou de um fato. É preciso, em suma, imaginarum objeto dotado de certas propriedades que, amiúde, não serão sensíveis. Sabe-se que o modelo conceitual negligenciará numerosos traços da coisa e afastará as características que individualizam os objetos. Cargas pontuais, planetas perfeitamente esféricos, pontos materiais, dentre outros, são exemplos de objetos-modelo comumente encontrados em física (p.13).

Os objetos-modelo podem ser construídos tanto a partir da observação crítica de fenômenos quanto por suposições acerca dos objetos reais. Logo, eles podem ser dotados tanto de propriedades reais quanto de propriedades idealizadas. Nesta última, pode-se ainda acrescentar elementos hipotéticos (não-observáveis) que compliquem o objeto-modelo tornando-o cada vez mais complexo ao mesmo tempo em que, paradoxalmente, grande parte de pormenores observáveis envolvendo tais elementos hipotéticos, podem ser deliberadamente ignorados. Assim, pode-se considerar o espectro de uma molécula sem que se considere o movimento dos núcleos (aproximação de Bohr e Oppenheimer), mas levando-se em conta efeitos de troca e correlação (*exchange and correlation*). Todavia, a criação de um objeto-modelo de nada vale se não inserirmos este último em uma teoria geral para se obter o que Bunge (1974) chama de modelo teórico. Assim, termodinâmica, teoria quântica, dentre outras, são exemplos de teorias gerais que por si mesmas, são incomprováveis visto que, *a priori*, não se referem a nenhum fenômeno em particular. De nada vale dispor de um Hamiltoniano eletrônico de muitos corpos — um objeto-modelo representado de forma simbólica — sem que haja uma teoria geral (teoria quântica) que permita obter e interpretar resultados (valores próprios e vetores próprios) a serem confrontados com dados experimentais. Logo, é o modelo teórico — constituído de um objeto-modelo inserido em uma teoria geral — que será usado como uma explicação e, portanto, confrontado com a realidade.

A partir do momento em que criamos um objeto-modelo e o inserimos em uma teoria geral, passamos a ter uma teoria específica para descrever algum fenômeno em particular, ou seja, passamos a ter um modelo teórico do fenômeno. Nesse sentido, alguns fatores possuem papel de destaque na teoria de Bunge (1974), sendo o principal, o pressuposto da existência de um objeto real, independente da consciência e, mesmo que diretamente inacessível aos sentidos, ainda sim dotado de uma realidade cognoscível e, portanto, que pode ser modelada. Mas seria essa posição epistemológica a única?

Segundo Hessen (1999) a questão anterior versa sobre a essência do conhecimento e a resposta é *não*. O autor afirma que, em essência, o conhecimento se dá mediante uma correlação do sujeito com o objeto sob três vertentes: o realismo (natural ou crítico), o fenomenalismo e o idealismo. Nessa correlação, ambos (sujeito e objeto), atuam de formas distintas na caracterização e formação de conceitos, pois cada indivíduo enxerga e compreende o objeto de diferentes maneiras.

O indivíduo realista enxerga e compreende o objeto como é percebido pelos seus sentidos. Para os realistas, sejam eles naturais ou críticos, objetos existem independentes da consciência cognoscente. Entretanto, diferentemente de um realista crítico que distingue o objeto em si de suas representações, um realista natural concebe o objeto exatamente da forma que se vê. Sendo assim, nas aulas de Química, ao serem utilizados modelos representacionais para átomos (átomo de Bohr, por exemplo) e moléculas (dois ou mais átomos de Bohr, próximos um do outro) um aluno realista natural pode equivocadamente concluir que a sua estrutura é exatamente da forma que está sendo representada. Na versão crítica do realismo, o sujeito, por não ter acesso direto ao objeto — mas a determinadas características e/ou comportamentos —

é levado a fazer conjecturas sobre sua estrutura. Para tal, são utilizadas representações que, por descreverem apenas em parte o comportamento do objeto, possuem lacunas e, portanto, são sabidamente incompletas visto que apenas parte do objeto — e não a sua totalidade — está supostamente representada sendo, portanto, o objeto cognoscível.

Já na visão fenomenalista, apesar de aproximar-se do realismo crítico ao postular a existência de um objeto independente da consciência, este último é, em si, incognoscível. Logo, as representações de um objeto assumem um caráter meramente positivista não devendo haver qualquer esperança quanto à ontologia das representações. Dito de outra forma, a representação não corresponde a uma “imagem”, mesmo que incompleta, do objeto, mas sim a um mero artefato conceitual (construída através da razão) para se fazer [dar] previsões [explicações] teóricas de dados experimentais.

Por fim, temos a visão idealista. Nela os objetos não têm existência própria independente da consciência. O ser das coisas existe apenas e tão somente quando elas estão na nossa consciência. Assim, elétrons, átomos, moléculas e outras entidades, nessa visão de mundo, deixam de existir no momento em que um novo paradigma que descarte esses conceitos, passe a vigorar. O idealismo, de certo modo, pode ser visto como o extremo oposto do realismo natural.

Os parágrafos anteriores mostram que representações, mesmo que na forma imagens ou kits didáticos, podem não **transmitir um único sentido** aos estudantes quando se trata da essência do conhecimento. Assim, representações, mesmo as pictóricas, podem criar obstáculos na aprendizagem do aluno, dado que do ponto de vista epistemológico, diferentes níveis de realidade podem ser atribuídos a essas representações, podendo torná-las fonte de concepções alternativas. Portanto, acreditamos que traçar um perfil epistemológico da essência do conhecimento de professores de química e licenciandos, levando-se em conta as categorias da essência do conhecimento (realismo natural, realismo crítico/fenomenalismo e idealismo) descritas por Hessen (1999), constitui um primeiro passo para se tentar entender as relações entre epistemologia e objetos-modelo em química. O Quadro 1 mostra um resumo das categorias (já descritas anteriormente). Salientamos que, dada a imprecisão das respostas quanto à cognoscibilidade ou não do conteúdo em questão, essas duas categorias foram concatenadas.

Quadro 1: Essência do conhecimento segundo Hessen (1999) e suas relações com os aspectos epistemológicos do conhecimento químico

Soluções metafísicas	Essência	Indicadores dos aspectos epistemológicos
Realismo (natural)	Os objetos reais existem independentes da consciência do sujeito.	O átomo é exatamente da forma em que é representado através das imagens (modelos conceituais) apresentadas nos manuais didáticos.
Idealismo (objetivo ou lógico)	Os objetos não existem por si mesmo, mas na medida em que são pensados e representados pela consciência.	O átomo só passa a existir a partir da objetivação da ciência, tal como se expressa nas obras científicas.

Modelos Atômicos: Correlações Entre Aspectos Representacionais e a Essência Realista do Conhecimento

Fenomenalismo/ realismo crítico	Existem coisas reais, mas os sujeitos não são capazes de conhecer sua essência, ou seja, nem todas as propriedades presentes nos conteúdos perceptíveis convêm às coisas. No realismo crítico a possibilidade de se chegar à essência do objeto é factível, diferentemente do fenomenalismo.	Existem átomos e moléculas, mas não se pode conhecê-los em sua totalidade. As representações não correspondem a „cópias fiéis do objeto, mas, podem conter características de parte destes (realismo crítico) ou nem mesmo possuir qualquer característica do objeto apesar de funcionar ao fazer previsões teóricas.
------------------------------------	--	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Delineamento Metodológico: Estratégia Adotada para Levantamento das Concepções dos Professores a Respeito dos Aspectos Representacionais do Conhecimento em Química

Tendo em vista a base teórico-conceitual exposta, optou-se por uma pesquisa de caráter qualitativo. Entendendo que nem “[...] sempre um único método é suficiente para orientar todos os procedimentos a serem desenvolvidos ao longo da investigação” (Gil, 2008, p. 15). Segundo Corbin e Straus (2008), analisar qualitativamente não se refere à quantificação de dados qualitativos, mas sim, ao processo não matemático de interpretação, feito com o objetivo de descobrir conceitos e relações nos dados brutos e de organizar esses dados em um esquema explanatório teórico. A pesquisa qualitativa é definida, muitas vezes, como uma descrição detalhada de situações, eventos, pessoas, interações e comportamentos observáveis que incorporam o que os participantes manifestam em depoimentos, experiências, atitudes, crenças, reflexões e percepções. Neste sentido, depreende-se que o método qualitativo busca auxiliar a apreensão dos sentidos relacionados ao fenômeno, sem que haja, entretanto, a necessidade de quantificar valores.

O percurso metodológico envolveu um questionário contendo cinco questões (ver apêndice I) que solicitavam aos professores que definisse e interpretasse, por meio de palavras e desenhos, a temática em estudo (estrutura atômica e molecular), externalizando das mais variadas formas (simbólica e pictórica) elementos que permitissem auferir o grau de realismo acerca das representações e dos modelos de átomos, moléculas e ligações químicas. O processo contou com entrevistas semiestruturadas, ambas aplicadas aos professores de Química que atuam no Ensino Médio das escolas lotadas na Gerência Regional de Educação — GRE Metropolitana Sul, Pernambuco. Para uma análise dos dados obtidos com os questionários e entrevistas, os entrevistados foram codificados com a letra *P* (referente à palavra professor) e um número correspondente (P_x , $x = 1, 2, 3, \dots, 15$), com o objetivo de assegurar o anonimato dos sujeitos.

A organização e as análises das interlocuções dos sujeitos (entrevistas e questionários) foram fundamentadas na análise textual discursiva (Morais & Galiazzi, 2007). A análise textual discursiva é uma das metodologias da análise textual que se “[...] preocupa com as condições de produção do discurso e com sua crítica a partir de pressupostos externos” (p. 148). Neste sentido, detém-se, sobretudo “[...] no implícito, fazendo dele o objeto de sua interpretação crítica” (p. 147). Assim, de posse dos dados (respostas e entrevistas), o próximo passo consistiu em identificar e categorizar os modelos atômicos e moleculares (ligação química) externalizados pelos participantes. Por fim — e como o objetivo principal do trabalho — a partir dos modelos

atômicos e moleculares identificados, buscou-se identificar a essência de tais modelos, valendo-se das categorias *a priori* propostas por Hessen (1999), conforme já mostrado no quadro 1.

Resultados: Aspectos Epistemológicos Dos Modelos Conceituais do Átomo e das Ligações Químicas

O quadro 2 tipifica de maneira resumida as categorias de análise, subdividindo-as em três itens: **TA**, **TB** e **TC**. Enquanto a tipologia **TA**, versa sobre categorias de modelos atômicos, **TB** versa sobre modelos de ligações químicas entre átomos para se formar uma molécula. Por fim, **TC** versa sobre a essência dos modelos em **TA** e **TB**. A seguir detalharemos as categorias bem como a incidência das mesmas.

Quadro 2: Gráfico da porcentagem entre a atribuição realismo das esferas (átomos à esquerda)

Categorias	Descrição	Subcategorias
TA. Tipologia dos modelos conceituais do átomo.	O átomo é um fenômeno que não pode ser visto diretamente, desta forma, buscam-se respostas e ilustrações dos professores quanto ao modelo atômico, buscando definições da imagem ou modelo mental utilizada por eles para explicar o átomo a partir da abstração entre os níveis microscópicos e teóricos;	Bohr: Professores que definem e ilustram os átomos de acordo com o modelo de Bohr com camadas (órbitas) eletrônicas bem definidas.
		NuCla: Professores que definem o átomo nuclear, mas com uma 'nuvem clássica' onde pontos correspondem à elétrons
		BohrAlt: Professores que descrevem e ilustram o átomo com modelos alternativos do átomo Bohr e da mecânica quântica.
		NuQua: Professores que definem o átomo de acordo com o modelo atômico da mecânica quântica.
TB. Tipologia dos modelos conceituais das ligações entre átomos.	Os átomos se unem a partir de ligações químicas para formar moléculas, desta forma busca-se entre as respostas e imagens dos professores quanto à ligação existente e suas inter-relações entre o teórico e o representacional.	Lig/a: Professores que definem e ilustram a ligação como sendo uma nuvem eletrônica com densidade de probabilidade de se encontrar o elétron.
		Lig/b: professores que definem e ilustram a ligação com um modelo de nuvem clássica (análoga a uma nuvem de gafanhoto composta por todos os elétrons) seja ela confinada (em um tubo ligando dois átomos) ou 'livre'.

Modelos Atômicos: Correlações Entre Aspectos Representacionais e a Essência Realista do Conhecimento

		Lig/c: Professores que discriminam a ligação como a intersecção de órbitas circulares dos átomos
TC. Essência do conhecimento	O conhecimento surge de uma relação entre o sujeito e o objeto e um dos problemas desta relação é saber se o sujeito determina o objeto ou o objeto determina o sujeito, desta forma busca-se definir os aspectos epistemológicos da essência do conhecimento apresentada nas respostas dos professores.	C1. Professores que apresentam evidências em suas respostas de um conhecimento essencialmente realista natural.
		C2. Professores que apresentam evidências de um aspecto epistemológico da essência do conhecimento do tipo fenomenalista/realista crítico.

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

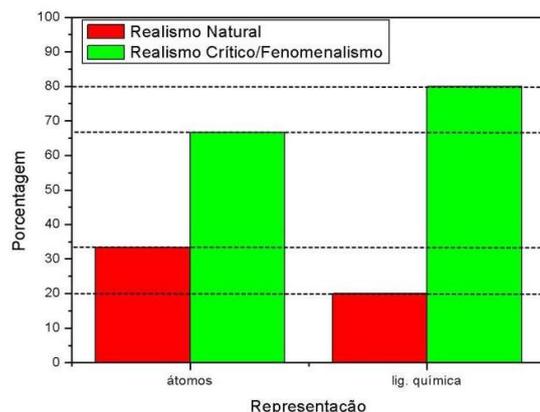
Faremos agora uma apresentação da análise dos dados obtidos através dos questionários, seguindo as classificações pré-definidas.

Essência e Kit didático molecular: levantamento preliminar

Como já mencionado, o questionário era composto por cinco questões com as duas primeiras envolvendo uma imagem de um kit molecular escolar, que representava átomos como esferas e as ligações entre eles como tubos. Diante da imagem, os professores foram solicitados a externalizar o significado de cada elemento (esferas e tubos) daquele kit para eles.

A análise das respostas da primeira questão fornece indícios em relação ao grau de realismo dos participantes: (C1) aqueles que identificaram as esferas e tubos como sendo uma imagem fiel, macroscópica dos átomos e das ligações químicas, com afirmações a respeito dos modelos de átomos como sendo “átomos de carbono e hidrogênio” — afirmação esta comum a P1, P3, P7, P8 e P12; e (C2) aqueles que as identificavam apenas como uma mera forma de representação ou um modelo pictórico simplificado, os quais afirmarão também a respeito dos modelos de átomos, por exemplo, que “são representações de átomos de carbono e hidrogênio”, afirmação esta comum aos demais, com poucas variações. A figura 1 traz um panorama das respostas dos participantes. Nelas vemos que 33% dos entrevistados atribuem à esfera um status de realismo natural, porcentagem essa que se reduz para 20% quanto ao realismo do tubo enquanto ente real presente nas ligações químicas. Para entendermos melhor esse comportamento, vamos analisar os diferentes modelos mentais de modelos atômicos evidenciados nas respostas dos participantes.

Figura 1: Gráfico da porcentagem entre a atribuição realismo das esferas (átomos à esquerda) e tubos (ligações químicas à direita) do kit molecular apresentado

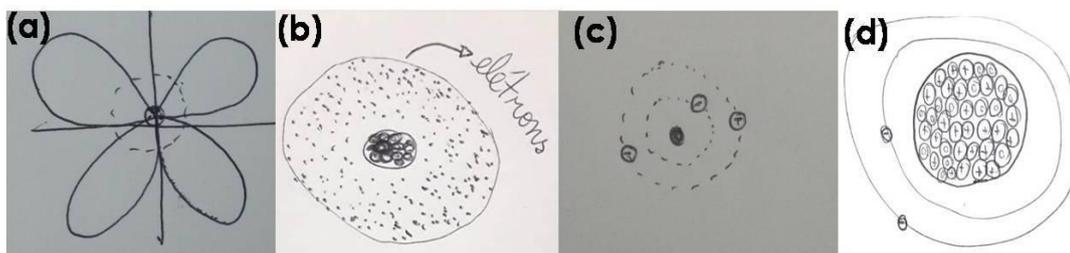


Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Modelos mentais de modelos atômicos

A figura 2 mostra as categorias de modelos mentais de átomos manifestadas durante as respostas dos participantes.

Figura 2: Ilustração dos diferentes modelos mentais de átomos. Em (a) temos o modelo probabilístico explicitando orbitais S e P. Em (b) um modelo alternativo onde a nuvem é formada, literalmente, por elétrons. Em (c) o modelo de Bohr e em (d) um modelo híbrido 'BohrAlt'.



4

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Nela vemos que são basicamente 4 modelos, a saber:

- Modelo Quântico (**NuQua**): Neste modelo a nuvem eletrônica possui claramente um caráter probabilístico na medida em que ela é uma região onde há chances ou provavelmente podem-se encontrar elétrons. Logo, a esfera é uma representação matemática e, portanto, não possui status de realismo natural no sentido de ser uma cópia fiel da realidade.
- Modelo de Nuvem Clássica (**NuCla**): Neste caso temos um modelo alternativo que mistura conceitos clássicos e quânticos. Há uma nuvem eletrônica, contudo esta nuvem não possui caráter probabilístico e sim clássico na medida em que a nuvem densa é formada por elétrons. Em alguns casos a nuvem é delimitada por uma casca esférica maciça conforme mostra a figura 3b, fato este que pode acarretar num certo grau de realismo ao kit molecular, fazendo com que este adquira status de versão fiel macroscópica da parte externa do átomo.
- Modelo **Bohr**: modelo do átomo de Bohr, com um núcleo formado por prótons e nêutrons com órbitas circulares, estacionárias, bem definidas. Certamente, uma esfera é uma representação

Modelos Atômicos: Correlações Entre Aspectos Representacionais e a Essência Realista do Conhecimento

simplificada do átomo, visto que seria um grande desafio construir um kit didático molecular valendo-se do modelo de átomo de Bohr.

- Modelo de Bohr alternativo (**BohrAlt**): modelo alternativo de Bohr, ou seja, uma esfera central maciça, mas não é indivisível: ela possui nêutrons, prótons (internamente) com elétrons (externamente). Note que (figura 3d) que a região do núcleo, não é muito menor que as regiões contendo os elétrons sugerindo uma forte analogia com o nosso sistema planetário: o núcleo atômico como análogo do Sol e os elétrons análogo aos planetas. O quadro 3 abaixo ilustra os argumentos dados pelos professores ao descrever as imagens da figura 3.

Quadro 3: Resposta dos professores a questão 3 sobre modelos atômicos

Questão (Q)		Q3
Categoria	Professor (P)	
NuQua	P14	<i>“O átomo seria composto por um núcleo e orbitais, possíveis locais de se encontrar os elétrons.”</i>
NuCla	P1	<i>“Os átomos seriam esferas maciças composta de prótons e nêutrons no seu interior e rodeada por uma espécie de nuvem densa formada pelos elétrons.”</i>
Bohr	P13	<i>“Os átomos seriam partículas compostas por um núcleo central, no qual encontram-se prótons e nêutrons e rodeadas por orbitas circulares, com diferentes níveis de energia na qual encontra-se o elétron.”</i>
BohrAlt	P5	<i>“Os átomos são esferas maciças compostas por um núcleo contendo prótons e nêutrons e rodeadas por camadas eletrônicas onde é possível encontrar os elétrons.”</i>

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Cada um desses modelos reflete a relação que o professor tem com o objeto de estudo que está analisando, materializando, de maneira geral, representações que estão presentes em seus livros textos tornando-se refém das representações que lhes são apresentadas, mas das quais não se tem domínio crítico-epistemológico.

Modelos mentais de ligações químicas

Uma vez identificados e categorizados os modelos mentais de átomos, o próximo passo consistiu em gerar uma situação-problema de modo a colocar esses modelos atômicos em ação. A situação-problema escolhida envolveu a junção de dois átomos para se formar uma molécula. Assim, o próximo passo da pesquisa versou sobre, dada a representação (modelo mental) do entrevistado, como esta é utilizada para abordar uma ligação química?

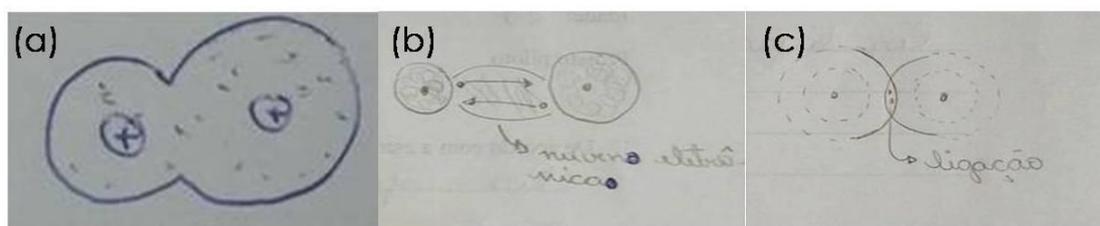
Na Figura 3 temos três categorias que ilustram como os diferentes modelos mentais de átomo interferem no conceito de ligação química entre dois átomos para se formar uma molécula. Na Figura 3a — doravante, chamá-la-emos de categoria *Lig/a* — temos que a ligação química envolve uma região do espaço onde há uma probabilidade de se encontrar elétrons compartilhados. Não fica claro se esses elétrons são clássicos ou partículas quânticas, mas evidencia que os tubos utilizados no kit molecular são apenas representações e não são entidades reais reproduzidas em escala macroscópica, configurando, uma essência realista crítica (ou fenomenalista). Perceba que há delimitação de regiões esféricas, que interpretamos como sendo superposição de orbitais do tipo S.

Já na Figura 3b temos um modelo de ligação química (*Lig/b*) com compartilhamento de elétrons por meio de um tubo conectando os dois átomos representados por duas esferas. Claramente

a nuvem eletrônica é uma nuvem clássica na medida em que as setas apontam para a direção do movimento das partículas (duas no caso), sendo o tubo a região por onde os elétrons — que compõem esta nuvem — transitam entre os átomos. Vemos que neste caso, o tubo utilizado no kit didático tem caráter real, configurando uma essência realista natural da representação macroscópica.

Por fim, temos na Figura 3c o conceito de ligação entre átomos de Bohr e sua versão alternativa (*BohrAlt*). Neste caso, o modelo de ligação (*Lig/c*) envolve o compartilhamento de partículas na região delimitada pela intersecção das órbitas circulares, ou seja, a região de intersecção é a ligação. Em se tratando da versão *BohrAlt*, a figura é similar exceto pelo tamanho dos núcleos. Vemos que neste caso que os tubos do Kit didático molecular são apenas representações e, assim como na categoria *Lig/a* — mas por motivos distintos — em essência temos realistas críticos (ou fenomenalistas).

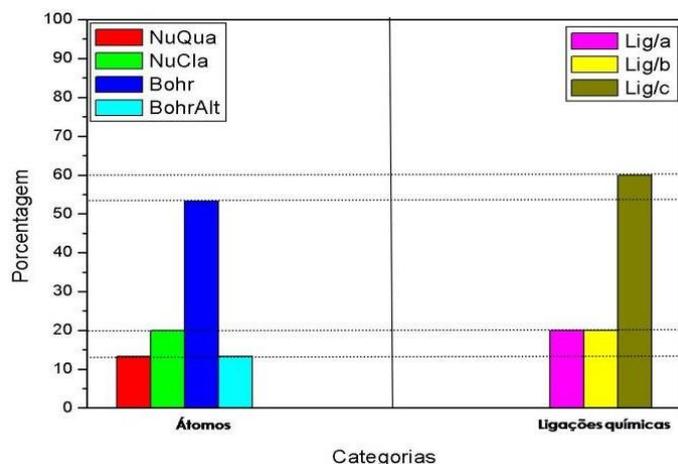
Figura 3: Ilustração das ligações entre átomos. Em (a) temos uma região probabilisticamente compartilhada (categoria *Lig/a*). Em (b) a ligação implica em compartilhamento de elétrons por meio de um ‘canal’ (categoria *Lig/b*) e em (c) a ligação envolve compartilhamento de elétrons por meio de uma intersecção de circunferências (categoria *Lig/c*).



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Em termos quantitativos, a partir da Figura 4, é possível observar que todos os entrevistados definem as ligações com base nas representações pictóricas de seus modelos mentais de átomos, fato este que pode vir a se tornar um obstáculo epistemológico ao se abordar a temática: moléculas e ligações químicas. Embora o kit didático molecular represente as ligações através de tubos e varetas, sem qualquer grau de realismo, a maioria dos professores conceitua ligação química nesses kits como meras representações, não pelo kit em si (um objeto didático macroscópico), mas por estarem em consonância com seus modelos mentais de átomo. É daí que surgem os modelos alternativos de ligações entre átomos: intersecção de órbitas circulares e canais de ligações entre átomos por onde as partículas da nuvem de elétrons transitam; modelos esses que não são encontrados em livros didáticos, sendo os mesmos criados a partir das diferentes representações dos átomos. A figura 4 mostra, em termos quantitativos, o que foi dito no parágrafo anterior.

Figura 4: Aspectos epistemológicos dos modelos conceituais de ligações químicas



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Vemos assim que quando a representação do modelo mental de átomo tem forte correlação com o kit didático, o kit acaba adquirindo status de realismo natural, ou seja, carrega consigo a essência do átomo. Pode-se notar que, somando-se as porcentagens de modelos mentais de átomos que não estão presentes nos manuais didáticos (BohrAlt + NuCla = 13,333%+20% = 33,333% = A2) temos exatamente o percentual dos entrevistados que consideram a esfera do kit didático como retrato fiel do átomo, só que em escala macroscópica. Fato similar ocorre com o grau de realismo dos tubos que representam as ligações químicas do kit: a porcentagem dos que consideram esse tubo real em escala nanoscópica (20%) corresponde à porcentagem dos que possuem o modelo de ligação alternativo, através de partículas transitando entre átomos por uma região bem definida (ver modelo *Lig/b* na Figura 4 e Figura 3b).

Por fim, vemos fortes indícios da correlação entre o grau de realismo das representações alternativas de modelos atômicos e os efeitos deletérios desta correlação quando ampliamos o campo conceitual desses modelos através da situação-problema: a ligação química entre dois átomos. O realismo natural enquanto essência torna-se um obstáculo epistemológico para o processo de ensino de modelos abstratos, fato esse manifestado nas respostas através de modelos alternativos de ligações químicas geradas a partir das representações — tomadas como reais — dos modelos atômicos.

Considerações Finais

Neste estudo, buscou-se compreender os aspectos epistemológicos da essência do conhecimento dos professores de Química do Ensino Médio, fazendo uma aproximação com os aspectos representacionais da química, para entender como se dá a percepção do átomo e das ligações químicas a partir de uma imagem simbólica na essência do conhecer pelo sujeito. A hipótese subjacente era que, a partir do uso de representações de objetos-modelo, muitos professores podem assumi-los como sendo fiéis ao objeto real, o que de fato aconteceu. Contudo, essa concepção pode impactar na atuação do docente que pode vir a desenvolver concepções deturpadas diante de representações pictóricas na medida em que a utilização desses objetos, sem a devida mediação epistemológica durante a sua formação, desenvolve espontaneamente uma visão incorreta sobre modelos atômicos. Tal fato tem como consequência um efeito em cascata envolvendo conteúdos posteriores tais como: moléculas e ligações químicas.

Desta forma por entender que os conceitos científicos são abordados e trabalhados a partir de modelos teóricos — que diante de uma postura realista, pode ser vista como uma tentativa de

se aproximar, ainda que por via da razão, do real — há de se ter uma atenção especial nesta mediação entre teoria e realidade. Tal mediação é necessária uma vez que nem sempre as pessoas compreendem ou fazem por si só as associações entre representações, modelos teóricos e a realidade em si. Desta forma, constata-se a afirmação de Silva, et al. (2006): “as imagens são pouco exploradas em sala de aula, o que leva a inferir que boa parte dos professores considera que as imagens falam por si ou transmitem um único sentido (p. 20)”.

Sendo assim, um ponto de extrema relevância referente aos resultados obtidos, diz respeito ao quanto algumas concepções espontâneas referentes à essência do conhecimento em ciências — e do fazer científico — muitas vezes podem estar correlacionadas com questões epistemológicas envolvendo a essência das representações do conhecimento científico. Faz-se, portanto, necessário que tais questões recebam a devida atenção na formação de professores no sentido de se formular estratégias que correlacionem conteúdos específicos com seus aspectos históricos e epistemológicos, evitando assim que se perpetuem concepções realistas ingênuas.

Referências

Andretta, F. C. (2013). Currículo e conhecimento escolar: uma reflexão sobre algumas relações teóricas e práticas. *Perspectiva*, Erechim, v. 37, n. 140, p. 93-102. Disponível em: http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/140_376.pdf. Acesso em: 28 de dezembro de 2018.

Bachelard, G. (1996) *A formação do espírito científico*: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto.

Bardin, L. (1977). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70.

BARROS, S. A. M. Obstáculos epistemológicos: o conceito de Quantização de energia nos livros didáticos de química do ensino médio. In: Encontro nacional do Ensino de Química, 15, 2010, Brasília. *Resumos do XV Encontro nacional do Ensino de Química*. Disponível em: <http://www.sbg.org.br/eneq/xv/resumos/R1199-1.pdf>. Acesso em: 30 de agosto de 2018.

BUNGE, M. **Teoria e Realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

Campos, M. L. A. *A organização de unidades de conhecimento: o modelo conceitual como espaço comunicacional para a realização da autoria*. 2001. Tese (Doutorado em Comunicação) - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://ridi.ibict.br/handle/123456789/679>. Acesso em 12 de novembro de 2018.

Corbin, J. M. & Straus, A. L. (2008) *Pesquisa Qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada*. Porto Alegre: Bookman.

Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6 ed. São Paulo: Editora Atlas.

HESSEN, J. (1999). *Teoria do Conhecimento*. 2. ed., São Paulo: Martins Fontes.

Jonhstone, A. H. (1982). Macro and micro-chemistry. *The School Science Review*. v. 64, n.227, p.377-379. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=ccda0dc2-9065-414c-826f-9e9538caee9>. Acesso em 30 de agosto de 2018.

Jonhstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 7, n. 2, p. 75-83. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

Jonhstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry: logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, v. 1, n. 1, p. 9-15. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2000/rp/a9rp90001b#!divAbstract>. Acesso em:

29 de outubro de 2018.

Justi, Rosália S. (2011). Modelos e modelagem no ensino de Química: Um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: Santos, Wildson & Maldaner, Otávio. *Ensino de Química em Foco*. Porto Alegre: UNIJUI, p. 209.

Kavalek, Débora Schmitt. *Átomo, representação e filosofia da química: caminhos para a transição da linguagem diagramática para a discursiva em aulas da educação básica*. 2016. Tese (Doutorado em Educação) - Instituto de Ciências Básicas da Saúde. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/148629>. Acesso em: 07 de setembro de 2018.

Lopes, Alice R. C. (2007). *Currículo e epistemologia*. Ijuí: Unijuí.

Locatelli, Solange W. *Relação existente entre metavizualização e as representações simbólicas submicro na elaboração de atividade em química*. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81132/tde-28062016-095732/pt-br.php>. Acesso em: 25 de novembro de 2018.

Malta, S. C. L. (2013) Uma abordagem sobre currículo e teorias afins visando à compreensão e mudança. **Revista Espaço do currículo**, v. 6, n. 2, p. 340- 354.

Miranda, F. A. & Araújo, S. C. M. Identificação de obstáculos epistemológicos presentes em alguns livros didáticos de química do ensino médio. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 16., 2012, Bahia. *Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI)*. Disponível em: <http://www.eneq2012.qui.ufba.br/modulos/submissao/Upload/42451.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2018.

Mortimer, Eduardo F.; Machado Andrea H. & Romandelli, L. I. (2000). A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. *Química Nova*, v. 23, n. 2, p. 273-283, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v23n2/2131.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2018.

Moreira, Marco A. & Massoni, N. T. (2011). *Epistemologias do Século XX: Popper, Kuhn, Lakatos, Laudan, Bachelard, Toulmin, Feyerabend, Maturana, Prigogine, Mayer*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária..

Morais, Roque & Galiuzzi, Maria C. (2007) *Análise textual discursiva*. Ijuí: Editora Unijuí.

Sangiogo, Fábio A. *A elaboração conceitual sobre representações de partículas submicroscópicas em aulas de química da educação básica: aspectos pedagógicos e epistemológicos*. 2014. Tese (Doutorado em Educação científica e tecnológica) Programa de Pós- Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/123168>. Acesso em: 26 de setembro de 2018.

Silva, Henrique C.; Zimmermann, Erika; Carneiro, Maria H. S.; Gastal, Maria L. & Cassiano, Webster S. (2006). Cautela ao usar imagens em aulas de Ciências. *Ciência & Educação*. v. 12, n. 2, p. 219-233.

Silva, Jackson Gois da. *A significação de representações químicas e a filosofia de Wittgenstein*. 2012. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-29082012-104740/publico/tese.pdf>. Acesso em: 07 de setembro de 2018. DOI: 10.11606/T.48.2012.tde-29082012-104740.

Souza, Karina Aparecida de Freitas Dias de. *Estratégias de comunicação em química como* *Revista Debates em Ensino de Química* 7(1), 186-200.

índices epistemológicos: análise semiótica das ilustrações presentes em livros didáticos ao longo do século XX. 2012. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46136/tde-08052013-095035/pt-br.php>. Acesso em: 2018-09-07. DOI:10.11606/T.46.2012.tde-08052013-095035.

Wartha, E. J. *Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica Peirceana*. 2013. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81132/tde-27112014-160633/pt-br.php>. Acesso em: 25 de setembro de 2018.