

# UMA AGENDA DE PROBLEMAS SOBRE A LINGUAGEM QUÍMICA DISCUTIDOS PELA FILOSOFIA DA QUÍMICA PARA O ENSINO DE QUÍMICA

Uarison Rodrigues Barreto<sup>1</sup> (PG) (uarisonbarreto@gmail.com), Lisandro Bacelar da Silva<sup>2</sup> (PG), Nelson Rui Ribas Bejarano<sup>3</sup> (PQ), Marcos Antônio Pinto Ribeiro<sup>4</sup> (PQ)

<sup>1</sup> Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Campus Universitário de Ondina, CEP: 40210-340, Salvador – Ba.

<sup>2</sup> Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Campus Universitário de Ondina, CEP: 40210-340, Salvador – Ba.

<sup>3</sup> Pesquisador, Professor Associado IV do Departamento de Química Geral e Inorgânica, Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Campus Universitário de Ondina, CEP: 40210-340, Salvador – Ba.

<sup>4</sup> Pesquisador, Professor Adjunto do Departamento de Química e Exatas, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Av. José Moreira Sobrinho, CEP: 45206 – 510, Jequié – Ba.

Resumo: Admitimos que a linguagem, é uma das dimensões cognitivas necessárias à aprendizagem conceitual, tendo como base a psicologia cognitiva. Nesse sentido, pensar acerca dos problemas e da especificidade da linguagem química envolve aspectos meta reflexivos e, conseqüentemente exige instrumentos do campo emergente da filosofia da química. Entendemos que esta investigação contempla uma abordagem qualitativa, constituindo-se de um estudo exploratório, descritivo, compreensivo e configura-se como análise de documentos. Neste trabalho, propomos uma agenda dos problemas discutidos pela filosofia da química que consideramos relevantes para o ensino, relacionados à linguagem química.

*Palavras-Chave: Filosofia da química, Linguagem química, Problemas.*

## INTRODUÇÃO

Adúriz-Bravo (2001), argumenta que recuperamos a visão contemporânea linguística da ciência. A epistemologia clássica analisava a linguagem científica em termos de conceitos e relações entre eles. As visões atuais, desde uma perspectiva mais próxima da pragmática a retórica (GROSS, 1990), recuperam o valor da abdução, analogia e metáfora como mecanismos de construção de sentido da ciência erudita e escolar (GRECA; MOREIRA, 1998; IZQUIERDO, 1999a; OSBORNE, 1999), uma vez que advoga por uma concepção multisemiótica da linguagem científica, que inclui de maneira coordenada as distintas formas de representação. Concordamos com Adúriz-Bravo que esta concepção contemporânea da linguagem científica recupera a notável importância do processo analógico da ciência erudita e escolar (ADÚRIZ-BRAVO, 2001).

Concordamos com Ribeiro (2014), a partir da análise temática da produção bibliográfica da filosofia da química, sobretudo, aquela oferecida pelas revistas HYLE (International Journal for Philosophy of Chemistry), revista veiculada aos filósofos da química e Foundations of Chemistry, revista mais veiculada a área da química, podem indicar um campo de problemas que podem orientar a didática da química, bem como o currículo, apesar de atualmente termos poucas aproximações entre filosofia e currículo (ERDURAN, 2001; ERDURAN; SCERRI, 2002). Acreditamos, amparados em Adúriz-Bravo (2001) Ribeiro (2014), Erduran (2001), Lombardi e Labarca (2007) que a filosofia da química pode (e deve) lançar luzes na educação química, sobretudo, no que diz

respeito aos níveis linguístico e epistemológico. Portanto, pretendemos, neste trabalho, apenas identificar, organizar e sistematizar os principais problemas acerca da linguagem química, discutidos e debatidos pela filosofia da química que consideramos relevantes para o ensino de química.

## **ABORDAGEM METODOLÓGICA**

Devido ao caráter teórico desta pesquisa, a metodologia deverá ser baseada na leitura e análise da literatura. Entendemos que esta investigação contempla abordagem qualitativa (CRESWELL, 2007), constituindo-se de um estudo exploratório, descritivo, compreensivo e configura-se como análise de documentos. Nessa perspectiva, “o analista, tendo à sua disposição resultados significativos e fiéis, pode então propor inferências e adiantar interpretações a propósito dos objetivos previstos, ou que digam respeito a outras descobertas inesperadas” (BARDIN, 1977, p. 101).

## **PROBLEMAS SOBRE LINGUAGEM QUÍMICA E A FILOSOFIA DA QUÍMICA**

### **O PROBLEMA DA EXPLICAÇÃO ESTRUTURAL**

Segundo Mainzer (1997), o conceito de estrutura molecular é um tema central na pesquisa e na práxis química. Acerca dessa temática, é possível, identificar, meio aos debates travados neste campo, questões tais como a estrutura molecular é redutível ou não? É um simples conceito ou possui alguma correspondência com a realidade? É relevante para a noção de identidade molecular?

Em relação à estrutura molecular:

Sabe-se que a aproximação de Born-Oppenheimer é essencial para relacionar a descrição química e a descrição quântica dos sistemas moleculares. A aproximação de Born-Oppenheimer se fundamenta, para efeito de cálculo, na separação do núcleo e do movimento dos elétrons. Essa aproximação ocorre em duas etapas: em um primeiro passo se ignora o movimento dos núcleos, negligenciando sua energia cinética, e se resolve a equação de Schrödinger apenas para os elétrons; em um segundo momento é reintroduzida a energia cinética dos núcleos. Essa técnica produz resultados aceitáveis com base no pressuposto de que os núcleos se movem lentamente, em relação aos elétrons, por que a massa  $M$  do núcleo é muito maior do que a massa  $m$  dos elétrons (LABARCA, BEJARANO & EICHLER, 2013, p.4).

Porém, um debate que tem se intensificado ao longo dos anos diz respeito à discussão se o conceito de estrutura molecular sobrevive além de tal aproximação (BADER, 1990; TRINDLE, 1980; SUTCLIFFE, 1992). Acrescentando a isso, embora tal aproximação seja uma poderosa e útil ferramenta, não é necessária nem suficiente para formular o conceito de estrutura molecular (SUKUMAR, 2008).

A discussão teve início a partir do artigo de Woolley (1978) em que apontou a contraposição da noção de estrutura com base na teoria quântica em relação à noção clássica e, portanto, não é propriedade intrínseca dos sistemas químicos (WOOLLEY, 1985). Este autor comenta ainda que o conceito de estrutura química não pode ser deduzido a partir da mecânica quântica, porque o programa reducionista falha na explicação química. Guy Woolley (1978) ainda argumenta que a noção de forma ou estrutura molecular é “o dogma central da ciência molecular”.

Hendry (2004, 2008, 2010) trata a questão da estrutura molecular no contexto do problema da redução. O autor acredita que a redução deve ser discutida no âmbito ontológico, uma vez que a irredutibilidade epistemológica (inter-teórica) da química a

física é indiscutível: inclusive o reducionista sabe que “as equações exatas não têm solução... os modelos semi-empíricos são aproximações aos tratamentos rigorosos que se encontram no seio das explicações do fenômeno da ciência especial” (HENDRY, 2010, p.184).

Para Del Re (2000), a questão que se coloca nesse debate é: “uma molécula tem estrutura”? Primas (1983) considera que a estrutura molecular é apenas uma metáfora que não tem correspondência com o real descrito a partir da mecânica quântica. Nessa perspectiva, é posta em dúvida a ideia fundamental de que as moléculas são construídas a partir de átomos, que retêm sua identidade dentro da molécula (WEININGER, 1984). Del Re (2000) defende que uma molécula tem uma estrutura na medida em que ela tem propriedade análoga à estrutura do seu modelo. Sukumar (2009) defende que o conceito de estrutura molecular necessita ser visto além da aproximação Born-Oppenheimer, que se resume, na química, aos modelos tipo bola-vareta.

Para Van Brakel (1999), o conceito de estrutura apresenta diversos significados a depender dos diferentes níveis de descrição: estrutura como um sumário de possibilidades de reações: macroscopicamente, dada a rede de relações entre substâncias e reações químicas; estrutura geométrica das moléculas no nível micro: espacialidade e organização dos átomos, estruturas cristalinas; estrutura de valência: no nível micro dos átomos e ligações entre átomos, configuração eletrônica; estruturas matemáticas da mecânica quântica usadas na descrição de um sistema particular.

Verifica-se que o conceito de estrutura ocupa grande parte do debate da filosofia da química, sendo o foco principal da possibilidade de redução da química à mecânica quântica. Entretanto, como se pode observar, questiona-se na literatura filosófica sobre a natureza do referente da estrutura molecular. O problema é que o conceito de estrutura molecular não parece encontrar um lugar no marco teórico da mecânica quântica, a que apela às noções clássicas, como por exemplo, as posições dos elétrons na estrutura de Lewis. Em quântica, a noção de estrutura carece de significado dado à indeterminação da posição e da trajetória das entidades moleculares. Sobre esse debate, concordamos com Labarca, Bejarano e Eichler (2013), pois acreditamos está longe ainda de ser resolvido, uma vez que as posições veiculadas entre conceitos quânticos e a noção de estrutura molecular divergem de forma significativa.

## O PROBLEMA DO REDUCIONISMO

Um dos temas de maior destaque na filosofia da química é o problema do reducionismo, ou seja, se a química pode ser reduzida a física de forma completa; se os fenômenos químicos podem ser explicados por conceitos da física, em particular, os da Mecânica Quântica.

Hendry (1999) acredita que não temos motivos, ou melhor, boas razões para aceitar a integridade da física e que isso não é uma tarefa urgente. Ao comentar a alegação de que a física é causalmente completa, ou fechada, defende que modelos moleculares são uma das principais fontes de evidências, mas que, por mais perto inspeção que se faça, eles não apoiam a alegação de completude. Essa completude da física normalmente aparece em uma série de artigos como um lema.

Scerri (2007) comenta que a discussão sobre a redução está diretamente relacionada com a possibilidade de que os conceitos em química podem, ou não, ser reduzidos à Física (relação ambígua a que o autor se refere) mediada pela Mecânica Quântica, o que pode trazer implicações profundas para o ensino de Química. Por exemplo, um dos possíveis impactos sobre o ensino de química que teríamos é a

ênfase demasiada em aspectos quantitativos em detrimento de aspectos qualitativos. Scerri (um crítico da redução) sugere como resposta a questão da redução: “Sim e Não”. De sua visão, podemos extrair duas possibilidades: a redução parcial da química à física; a química reduzida e não reduzida ao mesmo tempo. Scerri (2000) ainda comenta que a física deveria explicar de forma satisfatória a natureza dos modelos químicos e proporcionar explicações mais gerais e fundamentais do que as explicações químicas. Segundo este autor, explicações e modelos químicos são genuinamente específicos do nível químico e, portanto, autônomos em relação às outras ciências, em particular, os da física.

De acordo com Erduran e Mugaloglu (2014, p. 295), o papel dos modelos na química tem sido subestimado desde a formulação da teoria quântica. Segundo estes autores, houve um afastamento da química qualitativa ou descritiva (que se baseia no desenvolvimento e revisão de modelos químicos) em direção à química quântica (que é baseado na teoria da mecânica quântica). Nesse sentido, “a química tem emergido como uma ciência reduzida onde os modelos químicos podem ser explicados pelas teorias físicas”.

Lombardi e Castagnino (2010) mostram que uma das dificuldades do reducionismo da química à física está em aceitar o reducionismo a uma ontologia quântica que não se sabe ainda o que significa. Observa-se que o problema do reducionismo não está presente apenas do lado da química, mas já se apresenta do próprio lado da física, conforme Papineau (1990, p.67) afirma: “todos os eventos físicos são determinados (ou tem suas chances) totalmente por eventos físicos anteriores, de acordo com as leis da física”. Para Hendry (1999) os fisicalistas parecem concordar com o fisicalismo, propriamente dito, que envolve a reivindicação conhecida como integridade da física. Isso implica que a física por si só é vista como auto-suficiente e que suas explicações não precisam fazer apelo às outras ciências. Porém, segundo o autor, há duas formas de bloqueio quanto ao aspecto de considerar que a física é completa: a autonomia e a universalidade da física.

Na atualidade, uma estratégia contra o reducionismo científico é a emergência. Esta busca apreender os fenômenos por meio do estudo dos elementos que compõem um sistema. Emergentistas admitem que para explicar o que ainda falta a descobrir no mundo, é necessário estudar melhor como a organização espontânea de grandes sistemas é possível, e assim como eles podem adquirir, às vezes, propriedades novas que não podiam ser antecipadas pelo estudo de seus componentes e dos intercâmbios entre eles (BUNGE, 1982; HENDRY, 1999). Por exemplo, em química, a forma estável das moléculas e de seus cristais, de modo geral, não pode ser definida por apenas uma molécula, mas por um conjunto sistema complexo. Outra é a questão da superveniência - que refere à relação de dependência existente entre uma propriedade de um sistema global e as propriedades dos seus componentes.

Creemos que o caráter reductivo, atenta contra a autonomia da química, uma vez que coloca a química numa posição subordinada à física. Para Kaya e Erduran (2011) o reducionismo no ensino de Química, exclui possibilidades, o que pode dificultar o ensino-aprendizagem da natureza do conhecimento químico. A despeito disso, nossa posição se aproxima da concepção de Labarca e Lombardi (2005) os quais defendem a autonomia da química quanto aos aspectos epistemológicos e ontológicos.

## **A NATUREZA DO CONCEITO DE ORBITAL**

Na filosofia da química, existe um forte debate sobre o estatuto ontológico do conceito de orbital atômico. A discussão que se faz acerca deste conceito, envolve questões como: Os orbitais existem ou não existem na realidade? Se existem, podem

ou não ser observados? Tem valor epistêmico, as aproximações com base em orbitais? Tais questões convergem para o debate entre realistas e antirrealistas científicos sobre a realidade das entidades explicativas utilizadas pela ciência.

De acordo com Labarca e Lombardi (2010) compreensões acerca do orbital – função de onda e densidade de probabilidade – podem coexistir do ponto de vista ontológico e epistemológico, implicando em dois tipos de orbitais: orbitais da química, entendidos como densidade de probabilidade de natureza realista e orbitais da mecânica quântica (essencialmente os da interpretação positivista), admitidos como função de onda e de natureza antirrealista.

O debate na filosofia da química sobre o estatuto ontológico dos orbitais começou a se intensificar a partir de uma matéria publicada na Revista Nature em 1999, a qual apontava para a visualização e fotografias de orbitais pela primeira vez na ciência. Esta matéria gerou no mundo científico, muitas discussões, sobretudo, em relação ao erro conceitual sobre visualização, apontada por Eric Scerri. Segundo este autor, o erro conceitual consiste em confundir o conceito de orbital com o conceito de densidade de carga (ou de elétrons), o qual se pode observar durante os experimentos. Tal distinção conceitual foi aceita pelos autores do artigo publicado na Nature.

Em princípio, quanto à existência dos orbitais atômicos, muitos químicos costumam assumir uma posição realista ingênua. Lemes (2013) verificou em uma pesquisa, que doutorandos de química de diversas áreas tais como analítica, inorgânica, orgânica, físico-química e bioquímica, em sua maior parte, acreditam na existência de orbitais, bem como suas formas – particularmente aquelas apresentadas em livros didáticos. Ao realista ingênuo, existe uma concepção concreta da verdade, a real existência de determinadas entidades propostas pela ciência.

Scerri (2000, 2001), alega que os orbitais não podem ser visualizados, uma vez que são funções de onda, ou seja, entidades matemáticas – não observáveis. O autor assume uma posição que se aproxima da posição antirrealista, a qual aponta que com base na mecânica quântica, os orbitais são ficções úteis, entidades desprovidas de existência na realidade. Contudo, segundo o autor, orbitais atômicos são apenas construções matemáticas e estritamente falando são apenas funções de onda genuínas em um elétron, sistemas como o átomo de hidrogênio, por exemplo. Scerri (2001) aponta que a observação de orbital atômico não existe, não há nada que se refere ao item ontológico e sim ao teórico (epistemológico). Acreditamos que a alegação de Scerri depende de um reducionismo metafísico.

Diante dessa discussão, duas questões são colocadas atualmente para os realistas: As entidades teóricas (elétrons, por exemplo) postuladas pelas teorias científicas, elas existem? Uma possível resposta seria: depende da interpretação. Giere (1992b) acredita que os termos teóricos (não observáveis) constituem uma referência a entidades com existência própria na realidade; as entidades são instrumentos de investigação. Outra questão comum no debate: O que legitima a postulação de entidade de processos inobserváveis na ciência? Para Putnam (1975), se não existissem as entidades que a ciência postula como explicar o êxito da ciência em dar previsões, se essas próprias entidades não existissem? O teórico ainda aponta que a melhor justificativa que se tem para o êxito da ciência são as suas afirmações apontadas pelos realistas científicos. Vale ressaltar que Putnam, ao transitar entre as correntes filosóficas (até passar a ser um antirrealista), nesse momento, ao comentar sobre o êxito da ciência apresenta uma cota de pensamento a favor do realismo científico.

Portanto, podemos verificar com base nessa primeira revisão da literatura que existem muitos autores que defende uma interpretação realista dos orbitais. Além disso, constatamos que temos na atualidade um problema de caráter metodológico –

didático, segundo o qual, o orbital ora é considerado como uma região do espaço onde há probabilidade de se encontrar um elétron (estrutura molecular), ora é uma função de onda (mecânica quântica).

## MODELOS, LEIS, TEORIAS E REALIDADE

Um conjunto de artigos concentra-se na natureza do conhecimento químico, particularmente em relação aos modelos, explicações e teorias (ERDURAN; MUGALOGLU, 2014). Weisberg (2004) comenta que a química propõe modelos qualitativos para embasar suas explicações. Para Earley (2003), a química e a emergente filosofia da química tem ambas contribuído para a contínua discussão filosófica acerca da natureza da explicação científica. Nesse sentido, uma agenda de questões relacionadas à natureza epistemológica dos modelos e a forma como são utilizados nas explicações químicas tornou-se uma área de crescente interesse na filosofia da química.

Sobre essa base, se questiona, por exemplo: qual é a natureza dos modelos químicos? Como estes modelos explicam a química contemporânea? Qual a relação entre a estrutura e a forma e a utilização de modelos de explicação química? (HARRÉ, 2003). Oh e Oh (2011, p.1118) ao comentarem sobre uso dos modelos na química, alegam que “a química é uma disciplina a qual se utiliza de diversos tipos de modelos em diferentes níveis, desde o nível observacional/macrosscópico e o simbólico com fins de investigação e ensino.” De acordo com Del Re (2000) modelos são ferramentas do pensamento químico. Nesse sentido, o autor, sugere dois tipos de modelos: modelos matemáticos (ferramentas do pensamento analógico argumentativo) e modelos físicos (ferramentas do pensamento analógico descritivo). Ao focar sobre modelos físicos, argumenta que são ferramentas fundamentais não somente da descrição científica do mundo “exterior”, mas da cognição do homem, especialmente no que se refere às coisas que não estão diretamente acessíveis aos sentidos.

Sobre esse estilo de pensar químico, filósofos da química consideram que os modelos são tão necessários nas descrições científicas do mundo natural que se pode dizer que entender a ciência é entender os modelos usados pelos cientistas. Schummer (2014) defende o uso dos modelos frente às leis da natureza. Este autor argumenta que a química como o epítome original da ciência experimental (ou Baconiana) parte do pluralismo metodológico em que uma variedade de modelos para ser escolhido a partir de razões pragmáticas tem preferência sobre as leis universais da natureza como na física matemática. Ao comentar sobre as diferenças entre leis e modelos em química, Schummer (2014, p.10) alega que:

Os modelos são desenvolvidos com a descrição aproximada de casos exemplares, o que pode ser cuidadosamente alargada a outros casos por uma modificação e sofisticções que incluem parâmetros para cobrir as suas particularidades. Enquanto a lei é a melhor quanto mais universal que é, um modelo é melhorado precisamente pelo cálculo, ensaios e limita o seu âmbito de utilização pretendida com estimativas de erro. Não pode haver duas ou mais leis da natureza competindo umas com as outras por muito tempo, porque há apenas uma natureza que qualquer lei tenta descrever de forma verdadeira e completamente.

Caldin (1961) escrevendo sobre a natureza das leis e teorias químicas, problematiza que elas não têm o mesmo sentido que as leis e teorias da física. As leis químicas, segundo este autor, são peculiares, não têm o sentido de universalidade, funcionam mais no sentido de regras para a ação do que como leis gerais para

explicação. Um exemplo seria a lei periódica dos elementos, “a ocorrência periódica dos elementos, após certo intervalo, é apenas aproximada” (SCERRI, 2000b, p.523). Esta distinção sugere que as leis da natureza podem ter diferenças ao tratar de cada disciplina científica específica. Na atualidade, Vihalemm (2003, 2011) tem sido um dos filósofos que mais tem explorado o contexto da natureza das leis química.

Com a intenção de compreender o papel das teorias quântica na química, Caldin (2002) defende que as teorias químicas são resultados de construções, e não de deduções com base em teorias físicas. As práticas em química não são feitas para testar hipóteses teóricas (CALDIN, 1961). Para Ribeiro (2014, p.86):

No tocante às teorias químicas, {...} diferentemente do que ocorre na física, que busca explicar fenômenos, recorrendo em sua grande parte ao princípio da causalidade, na química as teorias são narrativas e seus modelos e representações não pretendem falar necessariamente sobre o mundo, mas servir de ferramenta para intervir e transformar a natureza. Os modelos químicos não foram feitos para se referir ao real, mas para trabalhar com ícones representacionais que permitam intervir no real. Eles mostram o que é teoricamente possível e não o que é real. Dessa forma, uma síntese química não pode ser deduzida por um conjunto de leis.

Em relação às semelhanças e diferenças entre as explicações químicas e as explicações de outras ciências, em especial, as explicações físicas, Brown (2003) aponta a necessidade de considerar a natureza metafórica das explicações científicas, em geral. Nessa perspectiva, o autor faz uso de exemplos da química orgânica, visando argumentar que os modelos utilizados pelos químicos são tidos como instrumentos explicativos, metafóricos por natureza e que são distintos das representações explicativas usadas em outras ciências. De acordo com Woody (2000), o discurso explicativo nos diz o que devemos querer saber sobre o mundo e como devemos pensar para chegar lá.

## **O ORIGINAL ESTILO DE PRÁXIS QUÍMICA**

Pensamos que algumas dimensões da filosofia da química, notadamente o complexo estilo de pensamento químico, devem ser apropriadas pela filosofia da ciência. Nesse intuito, a dimensão multicontextual (RIBEIRO, 2014; SCHUMMER, 2006) assumida pela química contemporânea, pode (e deve) ser um objeto de destaque na reflexão epistemológica da ciência, a qual parece valorizar demasiadamente o contexto da justificativa dentre outros tão relevantes como os de descoberta, aplicação e educação. De modo semelhante, o fazer químico, no seio de um realismo operativo (BENSAUDE-VINCENT, 2008), de uma prática que pouco se destina a desvelar um real subjacente a macrofenômenos, ao conceber a teoria como narrativa experimental (HOFFMANN, 1993, 2007), é um campo rico para atentas explorações da filosofia da ciência.

Segundo Ribeiro (2014), a química constitui-se em um campo científico marcadamente inscrito nas tensões entre ciência/técnica, academia/indústria, natural/artificial, útil/risco, além das grandes tensões filosóficas, micro/macro, parte/todo, contínuo/descontínuo, substância/processos, conceito/empíria, nomotético/ideográfico. Esse pluralismo constitutivo (RIBEIRO; COSTA PEREIRA, 2012), ontológico (BACHELARD, 2009), metodológico (SCHUMMER, 1997, 2006), epistemológico (BACHELARD, 2009) e axiológico (KOVAC, 2002), perpassado por uma fenomenologia inscrita em complexas relações ontológicas, mobiliza simultaneamente: variados atores e contextos; variados estilos de pensamento;

variados recursos cognitivos (HARRÉ, 2005; GILBERT, 2009; HOFFMANN, 2003); variados valores pessoais e culturais envolvendo a categorização dos tipos naturais, relacionalidade, recursividade, lógica relacional e mereológica e uma relação constitutiva com os instrumentos de medida.

Por outro lado, a característica interdisciplinar da investigação em química tem sido reiterada pela literatura (SCHUMMER, 2006). Sjöström (2006) salienta que os campos tradicionais da química, como analítica, físico-química e orgânica, foram alterados depois dos anos 1950: para este autor, ao longo das décadas de 1950 e de 1970, com a ocorrência dos respectivos processos de fisificação e bioficação, além de passar por uma revolução instrumental, a química adquire um caráter de ciência de serviço, transformando-se assim de ciência acadêmica em ciência pós-acadêmica e interdisciplinar.

A multicontextualidade da química é outra categoria bastante identificada pelos pesquisadores. A filosofia da ciência convencional dava atenção ao contexto de justificativa e negligenciava os outros (descoberta, aplicação e educação). Na química, estes três contextos ganham grande expressividade: contexto da descoberta; contexto de aplicação e o contexto da educação. (RIBEIRO, 2014). Enquanto os filósofos da física exploram o contexto de justificativa, os filósofos da química exploram o contexto de descoberta, pois entendem que os químicos, ao mesmo tempo, que lidam com estruturas ordenadas como moléculas e cristais, lidam bastante com criações, principalmente nas sínteses químicas. Entendemos que os químicos não usam a mediação dos instrumentos para entender o fenômeno natural, como fazem os físicos, mas, concebendo a teoria como narrativas de experimentos, fazem história enquanto criam moléculas.

Assim, desenvolvendo o entendimento da Química como uma tecnociência, autores como Schummer (1997), Kovac (2001), Chamizo (2012) e Bensaude - Vincent (2009, 2010) consideram a que a Química constitui-se em exemplo de um conhecimento e prática que oscila entre as dimensões industrial, acadêmica, tecnológica e artística (RIBEIRO, 2014). Uma tecnociência prioriza a realização de ações que buscam criar substâncias, entendendo que não existem substâncias sem uma ação criativa. Elas não são apenas o resultado de uma intencional ação humana, mas também uma construção de significados plenamente inserida num dado contexto histórico- cultural. A principal forma de conhecimento dos químicos é propiciada por ações construtivas; e com estas aumenta-se a complexidade do mundo. Desta maneira, a química deve ser entendida como uma tecnociência, uma tecnoquímica (CHAMIZO, 2012).

A química antecipa a caracterização atual da ciência, assinalada por um realismo operativo, uma epistemologia do aprender fazendo, uma metaquímica orientadora da sua prática. Assim, não tem como valores fundamentais as verdades de suas construções, a explicação última da realidade, mas a possibilidade de suas representações (KOVAC, 2002; NORDMANN, 2006; BENSAUDE-VINCENT, 2009; RIBEIRO, 2014). Com o intuito de bem caracterizar todo este complexo estilo de pensamento e fazer químico, Chamizo (2012) desenvolvendo o entendimento da Química como uma tecnociência, considera que esta ciência constitui-se em exemplo de um conhecimento e prática que oscila entre as dimensões industrial, acadêmica, tecnológica e artística.

Bachelard (1977, 1978), num esforço de compreensão da natureza do fazer químico contemporâneo, assinala que este se caracteriza por um movimento de realização do racional; assim as condições experimentais funcionam como condições de experimentação propiciadoras da objetivação teórica do real. Cada vez mais na

Química a relevância da realidade imediata pode ser verificada como pretexto de pensamento científico, sugerindo realizações simultaneamente técnicas e racionais: assim, deve-se entender o real químico como um real essencialmente construído; construção esta que ocorre no âmbito de um realismo de segunda posição, “de um realismo em reação contra a realidade habitual, em polêmica contra o imediato, de um realismo feito de razão realizada, de razão experimentada” (BACHELARD, 1978, p. 93).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acreditamos, assim como Adúriz-Bravo (2001), Labarca, Bejarano e Eichler (2013) e Ribeiro (2014) que os tópicos discutidos e debatidos no campo disciplinar da Filosofia da Química podem ser utilizados na formação de professores a fim de que os docentes desenvolvam uma concepção epistemológica mais profunda da Química.

Quanto dos problemas da explicação estrutural e do reducionismo, reiteramos implicações relevantes para o ensino de química. Concordamos com Lombardi e Labarca (2007, p.387), o problema do reducionismo e, por consequência, a autonomia da química, evidencia “a necessidade de introduzir argumentos filosóficos como um novo recurso pedagógico no Ensino de Química” de maneira que, que possibilite aos educadores químicos se posicionarem diante do problema, a levantarem questões e debaterem em sala de aula com os estudantes, expondo argumentos distintos. A discussão de diferentes perspectivas acerca do tema pode levar os estudantes a compreenderem a natureza da química, assim como da sua relação com outras ciências.

Para Scerri (2000b, p.522), os educadores químicos devem “manter um equilíbrio entre princípios unificadores e os aspectos aparentemente mais descritivos e qualitativos.” Schummer (1998) considera que falar de química como um campo unificado obscurece a pluralidade de métodos e tradições históricas e objetivos científicos do campo da química. Lazslo (2012) acrescenta que o problema da redução expõe a pedagogia química a um paradoxo iminente, de ser uma ciência indutiva e abduativa, podendo ser pensada e fundada em explicações de natureza fisicistas de caráter dedutivo. Isso implica no negligenciamento do caráter pluralista, aproximado e diagramático da química, ou seja, de caráter criativo, tornando o ensino conservador e mecânico.

Em relação à natureza do conceito de orbital em química, nossa visão se aproxima de Scerri, o qual assume a posição intermediária entre o normativo e naturalismo frente ao caráter metodológico – didático. Defendemos que embora não possamos observar os orbitais com base na mecânica quântica, porém cabe chamar atenção dos professores de química sobre a possibilidade do ensino via a posição realista, porém é fundamental que o professor discuta com seus alunos sobre suas limitações.

Nordmann (2006) sublinha que a possibilidade de uma análise epistemológica da Química, de uma Metaquímica, fora vislumbrada por Bachelard (1978, 1990) quando este refletindo acerca da práxis química sublinha que, indiferente ao problema metafísico da existência e da fundação última da realidade, a elaboração do conhecimento químico, mais se relaciona à criação teórica do real. Contudo, acreditamos que o pensar químico vincula-se a um original modo de fazer científico, necessitando não de uma Metafísica, mas de uma Metaquímica, para que se possa compreender adequadamente a práxis química. Outros aspectos teóricos fundamentais da química de interesse da filosofia da química tais como o conceito de substância, ligação química, mecanismo de reação, tabela periódica, conceitos químicos, dualidade

dos conceitos, práticas e métodos da química, são temas pobremente discutidos pela educação química.

## REFERÊNCIAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A. A. (2001). Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias. Tese de Doutorado - Universitat Atonoma de Barcelona, Barcelona.
- BACHELARD, G. A Filosofia do não: O novo espírito científico. São Paulo: Abril Cultural, 1978 (Os Pensadores).
- BACHELARD, G. O pluralismo coerente da química moderna. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.
- BADER, R. F. W. *Atoms in Molecules: A Quantum Theory*, Oxford Press: New York, 1990.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2008). *Matire penser, essais d'histoire et de philosophie de la chimie*. Paris: Presses de l'Universit Paris Ouest.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2009). The chemists' style of thinking. *Ber.wissenschaftsgesch*, [S.l.], n.32, p.365–378.
- BROWN, T. L. Making Truth: Metaphor in Science. *Annals N.Y. Acad. Sci.* 2003, 988, 209.
- CALDIN, E. F. *The structure of Chemistry in relation to the philosophy of science*. London; New York: Sheed e Wards, 1961.
- CALDIN, E. F. *The structure of chemistry in relation to the philosophy of science*. HYLE, v.8, n.2, p. 103-121, 2002.
- CHAMIZO, J. A. (2012). Technochemistry. One of the chemists' ways of knowing. [S.l, s.d], *Foundations of Chemistry*, v.15, Issue 2, p. 157-170.
- CRESWELL, J. W. (2007). Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto (2a ed., L. de O. Rocha, Trad.). Porto Alegre: Artmed. (Obra original publicada em 2003).
- DEL RE, G. (2000). "Models and Analogies in Science", HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry 6, p. 5-15.
- DEL RE, G. *Annals N.Y. Acad. Sci.* 2003, 988, 133.
- EARLEY, J. (2003). Chemical Explanation: Characteristics, Development, Autonomy. In: NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES. *Annals.....* New York Academy of Sciences.
- ERDURAN, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An emerging field with implications For Chemistry education. *Science & Education*, New York, v.10, p.581–593.
- ERDURAN, S.; MUGALOGLU, E. (2014). Philosophy of chemistry in chemical education. In, M. Matthews (Ed.), *Handbook of Research on History, Philosophy and Sociology of Science*, Dordrecht: Springer.
- GIERE R. N. (1992b). La explicación de la ciência. Um acercamiento cognoscitivo. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (edición original em inglês de 1988).
- GRECA, I.; MOREIRA, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física em electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 289 – 303.
- GROSS, A. (1990). *The rhetorical of science*. Cambridge: Havard University Press.
- HARRÉ, R.; *Annals N.Y. Acad. Sci.* 2003, 988, 1.
- HENDRY, R. F. (1999), "Molecular Models and the Question of Physicalism", HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry 5, pp. 143-60.
- \_\_\_\_\_. (2004). The physicists, the chemists, and the pragmatics of explanation.

Philosophy of Science 71: 1048-59.

\_\_\_\_\_. (2008). Two conceptions of the chemical bond. *Philosophy of Science* 75: 909-920.

\_\_\_\_\_. (2010). Ontological reduction and molecular structure. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 41: 183-191.

HOFFMANN, J. M. L. (1993). How Should Chemists Think? *Scientific American*, p.66-73.

HOFFMANN, R. M. (2007). O mesmo e o não-mesmo. São Paulo: Unesp. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 9, p. 7-1.

HOFFMANN, R. M. (2003). “Thoughts on Aesthetics and Visualization in Chemistry”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 9, pp. 7-10.

IZIQUIERDO - AYMERICH, M. (1999a). Bases epistemològiques del currículum de ciències. *Educar*, 17, p. 69-90.

KAYA, E.; ERDURAN, S. Integrating epistemological perspectives on chemistry in chemical education: The cases of concept Duality, chemical language, and structural explanations. *Science & Education*. 2011, Outubro, p. 1-15.

KOVAC, J. (2002). Theoretical and practical reasoning in chemistry. *Foundations of Chemistry*. New York, v. 4, p. 63-17.

LABARCA, M.; LOMBARDI, O. The ontological autonomy of the chemical world. *Foundations of Chemistry*. 2005, v. 7, n. 2, p. 125-148.

\_\_\_\_\_.; LOMBARDI, O. Why Orbitals Do Not Exist? In: *Foundations of Chemistry*. New York, v.12, n.2, p.149-157, 2010.

\_\_\_\_\_.; BEJARANO, N. R. R.; EICHLER, M. L. Química e filosofia: rumo a uma frutífera colaboração. *Química Nova*, v. 36, n. 8, p.1-17, 2013.

LASZLO, P. (2012). Towards teaching chemistry as a language. *Science & Education*, New York, online first, 23 mar.

LEMES, A. F. G. Aspectos filosóficos e educacionais da química: investigando as concepções de doutorandos em química. 2013. 179f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, São Paulo, 2013.

LOMBARDI, O.; CASTAGNINO, M. Matters are not so clear on the physical side. *Foundations of Chemistry*, New, York, v.12, n. 2, p. 159-166, 2010.

MAINZER, K. (1997). Symmetry and Complexity - Fundamental Concepts of Research in Chemistry. *HYLE - An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, Berlin, v.3, p. 29-49. 370.

NORDMANN, A. (2006). From metaphysics to metachemistry. In: BAIRD, Davis; SCERRI, Eric; MCINTYRE, Lee (eds.). *Philosophy of Chemistry: synthesis of a new discipline*. Boston Studies in the Philosophy of Science, Dordrecht: Springer.

OH, P. S.; OH, S. J. What teachers of science need to know about models: Na overview, *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130, 2011.

OSBORNE, J. (1999). Promoting argument in the Science classroom: a rhetorical perspective, en *Proceedings of the Second ESERA Conference*. Kiel: IPN.

PUTNAM, H. What is mathematical truth. In: *Mathematics, Matter and Method*. (Philosophical Papers, vol. 1) Cambridge, Cambridge University Press, 1975.

RIBEIRO, M. A. P. Integração da Filosofia da química no currículo de formação inicial de professores. Contributos para uma filosofia no ensino. Tese doutoral. Universidade de Lisboa: Lisboa, 2014.

RIBEIRO, M. A. P.; COSTA PEREIRA, D. (2012). Philosophy of Chemistry as a foundation its curriculum: A proposal. In: *INTERNETIONAL SOCIETY FOR THE PHILOSOPHY OF CHEMISTRY.*, 07-10/08/2012. Leuven. Anais...Leuven.

- SCERRI, E. (2000). Emergence and application of philosophy of Chemistry in chemistry education. *School Science Review*, [S.l.], v.81, p.85–87.
- \_\_\_\_\_. Philosophy of chemistry: A new interdisciplinary field? *Journal of Chemical Education*, v. 77, n. 4, p. 522-525, 2000b.
- \_\_\_\_\_. SCERRI, E. The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, v. 2, n. 2, p. 165-170, 2001.
- \_\_\_\_\_. (2007). The Ambiguity of Reduction, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 13, pp. 67-81.
- SCHUMMER, J. (1997). Towards a philosophy of Chemistry. *Journal for General Philosophy of Science*, [S.l.], v. 28, p.307–335.
- \_\_\_\_\_. (1998). The chemical core of Chemistry I: A conceptual Approach. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* , v. 4, n.2, p. 129 -162.
- \_\_\_\_\_. (2003a). The Notion of Nature in Chemistry. *Studies in History and Philosophy of Science*, v.34, p. 705-736.
- \_\_\_\_\_. (2006). The philosophy of Chemistry: From infancy towards maturity. In: SCERRI, Eric; MACINTYLEE, Lee (eds.). *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a new Discipline*. Dordrecht: Springer, p. 19-39.
- \_\_\_\_\_. (2014). The Preference of Models over Laws of Nature. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry in Chemistry*. In: *European Review*, v.22, n.1, p. 87-101.
- SJÖSTRÖM, J. (2006). Beyond classical chemistry: subfields and metafields of the molecular sciences. *Chemistry International*, [S.l.], v.28, p.9-15.
- SUKUMAR, N.; *Found. Chem.* 2008,11,7.
- SUKUMAR, N. The Chemist's Concept of Molecular Structure. *Foundations of Chemistry*, 11 (1), 7-20, 2009.
- SUTCLIFFE, B. J. *Mol. Stru.* 1992, 259, 29.
- TALANQUER, V. Química: ¿Quién eres, a dónde vas y cómo te alcanzamos? *Educación Química*, v. 20, n. E, p. 220-226, 2009.
- TRINDLE, C. *Israel J. Chem.* 1980, p,19 – 47.
- VAN BRAKEL, J. (1999). On the neglect of the philosophy of Chemistry. *Foundations of Chemistry*. New York, v.1, p.111–174.
- VAN BRAKEL, J. (2000). *Philosophy of Chemistry: Between the manifest and the scientific image*. Leuven: Leuven University Press.
- VIHALEMM, R. Are Laws of Nature and Scientific Theories Peculiar in Chemistry? *Scrutinizing Mendeleev's Discovery*. *Foundations of Chemistry*. New York, v.5, p.7-22, 2003.
- VIHALEMM, R. The autonomy of Chemistry: old and new problems. *Foundations of Chemistry*. New York, v.13, n.2, p.97–107, 2011.
- WEININGER, S.J. The Molecular Structure Conundrum: Can Classical Chemistry Be Reduced to Quantum Chemistry? *Journal of Chemical Education* 61: 939–944, 1984.
- WEISBERG, M. Qualitative theory and chemical explanation. *Philosophy of science*, v. 71, n.5, p. 1071-1081, 2004.
- WOODY, A. I. Putting quantum mechanics to work in chemistry: the power of diagrammatic representation. *Philosophy of Science*, 67, p. 612-27, 2000.
- WOOLLEY, R. G. (1978). Must a molecule have a shape? *Journal of the American Chemical Society*, [S.l.], n.100 p.1073–1078.
- WOOLLEY, R. G. The Molecular Structure Conundrum. *Journal of Chemical Education* 62: 1082–1085, 1985.