

Particularidades estruturadoras da ciência Química: alguns pontos explicitados por doutorandos em Química

Anielli Fabiula Gavioli Lemes (PG)¹, Paulo Alves Porto** (PQ)¹*

¹Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química –
Instituto de Química, Universidade de São Paulo - SP

**ani_fgl@iq.usp.br*

***palporto@iq.usp.br*

Resumo

A discussão sobre quais são as peculiaridades da Química permeia as pesquisas de Ensino e Filosofia dessa ciência. No Ensino, saber quais são os elementos estruturantes pode auxiliar na definição e estruturação de currículos e estratégias. Na Filosofia da Química, essa discussão abrange, principalmente, a necessidade, ou não, de se recorrer a conceitos fundados pela Física para entender fenômenos químicos, como propõe o reducionismo. Para investigar quais são as particularidades da Química, foram entrevistados dez doutorandos em Química sobre suas percepções acerca do fazer químico. A análise das entrevistas apontou a prática experimental como cerne dessa ciência. Com base nas falas dos entrevistados, tecemos um argumento filosófico, baseado no conhecimento como rede de significados, para uma caracterização preliminar do pensamento químico.

Palavras chave: Conhecimento como rede; Educação Química; Filosofia da Química.

Structuralizing particularities of Chemical science: Some points made explicit by Chemistry graduate students

Abstract

The discussion about what are the peculiarities of Chemistry permeates the studies about Chemical Education and Philosophy of Chemistry. In Education, knowing what the structuring elements of chemistry are might help to define and organize curricula and teaching strategies. In Philosophy of Chemistry, this discussion involves mainly the necessity of recurring to concepts from Physics, in order to understand chemical phenomena. For a better understanding of the peculiarities of Chemistry, ten chemistry graduate students were interviewed about their perceptions on chemical research. The analysis of the interviews indicates experimental practice as the core of this science. Based on the respondents' answers a philosophical argument is proposed, by applying the concept of knowledge as network of meanings, to attain a preliminary characterization of the chemical thought.

Keywords: Knowledge as network; Chemical Education; Philosophy of Chemistry.

Filosofia da Química e o Ensino de Química

A preocupação quanto à inserção de aspectos históricos e filosóficos no Ensino Superior em Ciências ganhou grande importância nos últimos anos (El-Hani, 2007). Dentre várias questões filosóficas que permeiam a Química, as discussões sobre o realismo, autonomia, modelos e explicações em Química, estão atualmente entre os principais temas debatidos (Labarca, 2010). Essas questões abrangem, por exemplo, se é necessário ou não recorrer a conceitos fundados pela Física, para entender fenômenos químicos (Scerri, 2000a); se existem ou não as entidades designadas por termos como átomos, ligações químicas, orbitais, etc. (Labarca, 2010); e se são os modelos que estruturam as explicações e as práticas em Química (Schummer, 1999 e 2000). Recentemente, Talanquer (2011) e Kaya & Erduran (2011) chamaram a atenção para possibilidades de melhorias no Ensino de Química pela introdução de perspectivas oferecidas pela Filosofia da Química. Erduran et al. (2007) argumentam em favor da Filosofia da Química tanto na formação de professores quanto para melhor compreensão de conceitos de Química pelos estudantes. Nesse sentido, a Filosofia da Química propicia questionar idéias estruturantes da Química. No trabalho de Lima e Barboza (2005), os autores valorizam a compreensão do objeto da Química, o que pode auxiliar na definição do que organiza o pensamento dessa ciência. Lima e Barboza definem, em linhas gerais, que a Química se destina ao estudo dos materiais, suas propriedades e transformações. Porém, defendemos que uma reflexão filosófica mais profunda sobre esses aspectos é necessária para buscar um entendimento que possa contribuir de maneira mais profícua para o ensino dessa ciência.

Diversos trabalhos recentes na área de Filosofia da Química procuram discutir quais seriam os aspectos peculiares da Química (Benfey, 2000; Bhushan & Rosenfeld, 2000; McIntyre, 1999; Scerri, 2007; Schummer, 2008; Sjöström, 2007). Dentre várias outras questões, a redução da Química à Física é um aspecto de particular interesse para a Educação em Química (Scerri, 2000a). Essa discussão se refere à possibilidade de os conceitos químicos poderem ser, ou não, redutíveis à Física por intermédio da mecânica quântica, o que pode refletir, educacionalmente, nas questões de “como” e “o que” ensinar em Química, principalmente no Ensino Superior, onde são formados profissionais capazes de produzir/modificar o conhecimento químico. Kaya & Erduran (2011) observam que a perspectiva reducionista no ensino de Química, excluindo outras possibilidades, pode dificultar o ensino e a aprendizagem da natureza do conhecimento químico, que é distinto do conhecimento da Física. Talanquer (2011) também argumenta que a adoção da Física como ciência paradigmática, frequentemente conduz a um estatuto subalterno para a Química – cujas teorias, modelos e modos de pensar seriam menos corretos e importantes que os da Física. Assim, a suposição de que o conhecimento químico pode ser reduzido a leis e princípios da Física reforçaria a convicção de que somente têm valor os modelos e teorias químicos que podem ser expressos em termos físico-matemáticos. Ou seja, a perspectiva reducionista teria como impacto sobre o ensino de Química a ênfase em quantificações, cálculos e aplicação de algoritmos, em detrimento de aspectos qualitativos, relacionais e classificatórios que são essenciais no conhecimento químico.

Uma possibilidade de argumentação contra a postura reducionista pode ser construída a partir das ideias expressas em Machado (1999). Esse autor defende o conhecimento como rede de significados, em alternativa ao conhecimento entendido como cadeia, apresentando-se assim como uma alternativa para entender a aquisição e a produção de conceitos. Machado

defende que, para entender conceitos, é necessário tecer uma rede de significados fundamentais para cada interesse. Essa rede favorece a livre circulação entre as disciplinas, pois todos os conceitos estão relacionados. Cada disciplina científica, porém, seleciona uma dimensão de um determinado nó, ou nós, da rede do conhecimento científico. Quando o nó é visto de perto, observa-se que o próprio nó é outra rede de significados: por isso, depende-se da escala para definir o que é um nó ou o que são articulações. No contexto dessa teoria de rede, pode-se relacionar as questões do reducionismo e da interdisciplinaridade. A imagem do conhecimento como cadeia remete diretamente ao pensamento cartesiano (Machado, 2004). Segundo tal imagem, o conhecimento, para ser entendido, deve ser dividido em partes menores e encadeado de forma lógica. Possíveis consequências são o reducionismo ontológico, e a organização das teorias científicas em forma de hierarquia, reguladas pelo mundo físico (Lombardi e Labarca, 2005). O conhecimento entendido como rede, por sua vez, não prevê uma centralização dos saberes, mas centros de interesse e relações, que trazem significados e, com isso, o conhecimento se compõe. Essa imagem favorece o entendimento da interdisciplinaridade, ou seja, a busca da interação e da complementaridade entre os campos disciplinares (Machado, 1999). Sendo assim, o nó, ou objeto a ser estudado, não pertence a nenhum campo disciplinar específico. O que compete a cada ciência é estabelecer as relações que cada uma faz de um objeto, ou qual a representação desse objeto.

Outro aspecto que tem sido abordado por filósofos da Química se refere à importância da síntese (de substâncias, compostos, novos materiais) como característica essencial e mesmo definidora da Química, que a distingue de outras ciências da Natureza. De acordo com Schummer (2008):

“[...] a síntese é uma parte integrante da Química tanto em nível experimental, quanto teórico. [...] Propriedades químicas são reveladas somente através da síntese, ou seja, por meio de reações químicas que alteram uma substância em outra, em condições controladas de laboratório. Assim, a teoria Química, que espera fazer previsões, deve ser capaz prever sínteses, e a única maneira para testar as previsões é, naturalmente, por meio da síntese.” (Schummer, 2008, p. 7.)

Diante do exposto acima, o presente trabalho tem como objetivo fazer um mapeamento de questões relacionadas à Filosofia da Química, a partir de entrevistas com doutorandos em Química de uma Universidade pública paulista. A escolha por doutorandos se justifica pelo fato de se tratar de pessoas envolvidas na geração de conhecimentos químicos e, nesse sentido, seu olhar é privilegiado a respeito das peculiaridades da Química, e sobre como a Química funciona. A partir do levantamento das singularidades da Química em relação a outras ciências, expressas pelo grupo investigado, propomos, ao final deste trabalho, uma argumentação filosófica que busca uma caracterização preliminar do pensamento químico.

Metodologia

Nesta pesquisa, foram entrevistados 10 doutorandos em Química e, para a seleção desses atores da pesquisa, relacionou-se a área da Química, em que o doutorando está trabalhando, e a facilidade de abordagem e disponibilidade dos pós-graduandos.

A coleta de dados foi via gravação de áudio da atividade, a qual se constitui em três grandes blocos: 1) ficha do perfil do entrevistado; 2) entrevista com perguntas diretas; e 3) entrevista semi-estruturada, guiada por questões associadas a fragmentos de artigos, e por frases relacionadas à natureza da Química. Este terceiro bloco foi inspirado em artigos da área de Filosofia da Química que discutem, a partir de publicações em Química, aspectos do

realismo e do reducionismo (Jenkins, 2003; Labarca & Lombardi, 2010; Scerri, 2000b). Dessa forma, o instrumento possibilitou trabalhar tópicos de Filosofia da Química utilizando textos familiares aos entrevistados.

Após a coleta de dados, foi feita a análise de todas as respostas do questionário/entrevista, com base na análise de conteúdo proposta por Bardin (2009), emergindo dos dados, com uma categorização inicial, o tema “peculiaridades da Química”. Neste trabalho, focamos uma pergunta do segundo bloco: “Na sua opinião, o que os Químicos mais fazem?”; e uma questão do terceiro bloco, na qual foi solicitada a opinião dos entrevistados sobre textos curtos que tratam do reducionismo (vide Quadro 1). Ao comentar os textos, os pós-graduandos faziam comentários que, eventualmente, geravam novas questões, com as quais a entrevistadora buscou maiores esclarecimentos sobre a opinião do entrevistado. As questões abordadas neste trabalho foram as que mais geraram proposições acerca das particularidades da Química.

Quadro 1 – Atividade do bloco 3, envolvendo questões acerca do reducionismo na Química.

3) Compare e comente as seguintes frases:

“Decompor a água nos gases hidrogênio e oxigênio não explica a ‘aquosidade’ da água.”

Mayr, E. *Biologia, ciência única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica*. Trad. Marcelo Leite. São Paulo: Companhia das Letras, 2005, p. 93

“Conhecer a sequência de disparos de neurônios de quando o poeta escreveu determinado verso, ou em nossa mente quando o lemos, ou na mente da pessoa que enviou a carta, conhecer a fantástica e bela complexidade das ações bioquímicas que estão por trás do disparo dos neurônios, e a Química e a Física por trás dela, tal conhecimento é incrível (...), mas ele nada tem a ver com entender o poema.”

Hoffmann, R. *O mesmo e o não mesmo*. Trad. Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora Unesp, 2000, p. 39.

“No início de 1828, o químico Wöhler teve sucesso em preparar substâncias orgânicas artificialmente e colocou em dúvida o importante e famoso conceito de “força vital”. (...) Deste então, o estudo de compostos orgânicos segue em rápidos avanços, passando a se tornar mais clara a falsa idéia de que há uma diferença entre substâncias orgânicas e corpos inorgânicos. A partir de substâncias inorgânicas simples, os Químicos podem agora preparar artificialmente quase todas as substâncias que são encontradas em organismos. Embora algumas dessas substâncias ainda não tenham sido obtidas, não existe dúvida de que elas poderão ser obtidas num futuro próximo.”

Oparin, A. I. *The origin of life*. trad. inglesa de John Desmond Bernal, 1924, p. 208.

“Não muito tempo atrás, a Física e a Química eram duas ciências separadas com o mínimo de conexão. A Física era a ciência do comportamento dos corpos independente da composição química, e a Química era a ciência da transformação das substâncias independente do tamanho ou movimento. As duas ciências entraram profundamente na região microscópica, se conectando. Agora, todo o fundamento da Química tem sido entendido, e pode ser

reduzido às leis atômicas da Física.”

Heitler, W. Quantum Chemistry: the Early Period. *International Journal of Quantum Chemistry*, 1967, v. I, pp. 13 e 35.

“As leis Físicas subjacentes, necessárias para a teoria matemática de grande parte da Física, e de toda a Química, são [agora] completamente conhecidas; e a única dificuldade é que a aplicação exata dessas leis conduz a equações complicadas demais para se resolver.”

Dirac, P. A. M. Quantum mechanics of many-electron systems. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 1929, p. 714.

As falas foram transcritas e codificadas com as siglas QI, para pós-graduandos da área de Inorgânica; QO, para Orgânica; QF, para Físico-química; QA, para Analítica; QBQ, para Bioquímica. Intervenções da entrevistadora foram codificadas com a letra P.

Resultados e discussões

Particularidades da Química: algumas vozes

Nas respostas à pergunta “Na sua opinião, o que os Químicos mais fazem?”, identificamos a grande importância atribuída ao aspecto experimental da Química. Os seguintes fragmentos são representativos das respostas obtidas a esse respeito:

QI1: Uma coisa que eles sempre fazem? Soluções! Qualquer área da Química tem que fazer soluções...

QO1: Uma Solução! Uma solução todo Químico faz, né?

QBQ1: Um núcleo comum entre todas as áreas da Química... [...] uma coisa que eu acho importante em todas as Químicas, inclusive na que eu trabalho, é você ter essa abstração de quantidade, por exemplo. [...] Quando você imagina, por exemplo, concentração molar de alguma coisa, mesmo trabalhando com proteínas dentro de uma célula, eu consigo imaginar que a concentração de proteínas tem uma importância... [...] Então, reatividade e concentração é uma coisa importante... [...] Outra coisa que é importante, ligado a isso também, é na hora de montar o experimento e você pensar, planejar e montar um experimento. [...] Na hora que você vai querer mudar, esse experimento, você tem que ter uma noção de conceitos químicos muito bom, por que vamos mudar uma acetanitrila por um metanol. Eu posso fazer isso ou não posso? Porque? Se eu mudar, eu vou ter que aditivar essa mediação com o quê, pra poder aumentar a polaridade ou não? [...] Porque os químicos são forçados a imaginar o mecanismo... o que tá acontecendo com as moléculas, e por isso que eu escolhi fazer Química, porque os

Químicos imaginam o que está acontecendo com as moléculas e é isso que eu queria aprender.

Schummer (2004) discute a questão de como os Químicos realizam experimentos, investigando 300 artigos de pesquisa em Química no período de 1980 a 1995. Schummer (2004) observou que a realização de grande parte dos experimentos compreende duas atividades: síntese e análise. Quando se focaliza na síntese (atividade majoritária encontrada nos artigos analisados) ele conclui que os “experimentos [para os Químicos] não são ferramentas para avaliar teorias – em vez disso, teorias são ferramentas experimentais, ferramentas para explorar o novo” (p. 404). No entanto, considerando a análise das falas dos pós-graduandos sobre o experimento na Química de forma geral, além de notar que os experimentos não são testes para teorias, entende-se que os experimentos são “conhecimentos-ação” para a manipulação da matéria, para que possa ter subsídios para construir novas idéias de como formar o novo. Executando seu experimento, o Químico “age” sobre a matéria para extrair mais propriedades dessa matéria e extrapolar essas informações sintetizando o novo. Essa particularidade aparece na fala do doutorando QBQ1 transcrita acima, mas também na fala dos doutorandos que se seguem:

QA1: Ah! Estudar as moléculas em si, né ? acho que de todas as sub-áreas da Química, o que elas têm em comum é estudar o comportamento químico das moléculas. Eu acho que mais específico que isso não tem...

QF2: O Químico trabalha com o estudo das transformações da matéria, né? Como produzir novos produtos e como entender como esses produtos interagem com o meio e com outros produtos químicos.

QO2: O Químico trabalha com substâncias... independente da área, é sempre interação da matéria com alguma coisa, né?

Nesses trechos, observa-se também o aspecto essencialmente duplo da Química moderna: enquanto QA1 destaca a Química como estudo de moléculas – ou seja, dá ênfase à escala microscópica –, QF2 e QO2 se referem ao estudo de produtos, ou substâncias – isto é, à escala macroscópica. Além disso, QF2 aponta a criação de “novos produtos”, o que está de acordo com a perspectiva proposta por Schummer (2008).

No desenrolar da entrevista, ainda considerando a mesma pergunta, o doutorando QBQ1 explicitou “o que o químico faz”, a partir da diferenciação com o que os Biólogos, que trabalham no mesmo laboratório de pesquisa, fazem. Por causa da sua vivência direta com diferentes profissionais na mesma área, mais exemplos das particularidades da Química foram citados.

QBQ1: [...] Eu odiava Biologia no colégio! Odiava! Por quê? Era muito descritiva pra mim. “A hemácia carrega oxigênio”, tá. Mas **como** a hemácia carrega o oxigênio? Eu quero saber como! Quais moléculas que são responsáveis pra isso? Então acho que isso é importante pra todos os químicos. Abstração de uma coisa que você não consegue ver. Você conseguir mudar os parâmetros experimentais ao seu bel prazer, racionalmente; racionalizar seu experimento... e sistematizar ele, pra você otimizar. [...] Biólogo tá interessado em outras coisas...

P: Em que coisas, por exemplo?

QBQ1: [...] O Biólogo, quando ele vai descrever a interação entre duas moléculas, ele usa uma bolinha [para representar a molécula inteira]. Porque o importante pra ele não é a carga daquela molécula; não é a polaridade dela; não são os átomos... [...] o Químico se importa com as partes dentro da molécula. Então, pra ele [Biólogo], interessa só que as moléculas interagem... nessas condições elas interagem. Só que isso é limitado, porque – isso funciona muito bem – mas chega uma hora você vai precisar saber o porquê que elas interagem, o porquê elas não interagem, pra você mudar as condições. [...]

Na atividade contendo fragmentos de textos sobre o reducionismo, quando os pós-graduandos não conheciam essa temática (somente um conhecia o reducionismo), eles relacionavam as citações diretamente com o tema da interdisciplinaridade, o que nos remete a uma visão de conhecimento como rede de significados (Machado, 1999), entendendo que a Química tem aspectos em comum com a Física, a Biologia e a outras Ciências, pois existem "nós" que as conectam, na rede do conhecimento científico. Isso é explicitado nas falas transcritas a seguir:

QA1: Essa aqui, no sentido de que não existe fronteiras [apontando para o trecho de Oparin]... e é onde tá caminhando; nesse sentido mesmo... E essa aqui, em termos de interdisciplinaridade [apontando para o trecho de Heitler]... Que a coisa não tá mais só em estudar por estudar, coisas separadas... nesse sentido.

QI1: Eu acho importante essa ideia aqui, pelo menos nesses dois está mais explícito... três últimos exemplos... a idéia de relacionamento entre toda a ciência... eu sou Químico Bioinorgânico, mas e daí? Eu tenho que saber físico-química; tenho que saber Orgânica; tenho que saber Bioquímica; tenho que saber Física, Matemática, então acho que não dá pra separar em classes assim... “então eu sou isso e só sei disso! Não vou saber de mais nada”. Então aqui fica bem claro quando ele fala que a Química e a Física se fundiram... então é isso.

QO2: Eu acho também essa questão de Química e Física [se referindo ao trecho de Heitler]... apesar de eu não gostar muito de Física, mas isso é uma verdade; que a Química e a Física sempre andam lado a lado... mais do que com outras áreas do conhecimento.

QI2: Analisando isso aqui [os trechos], eu acho que antigamente... a ciência era uma coisa só, eu acho, né? E depois teve essa divisão... agora eles viram que não, realmente as coisas estão um pouco interligadas, né? Porque hoje em dia, o próprio químico que faz síntese... a parte de RMN e infravermelho... são métodos físicos. Chamam métodos físicos aplicados na Química, né? Mas geralmente um entendimento aprofundado da técnica é mais pra um Físico, né? Aí o Físico tem entendimento das equações, mais

matemático, a questão da Matemática aplicada... Eu acho que tá tudo mais ou menos interligado, né? A Química, a Física, né?

As respostas sugerem que as visões reducionistas, expressas nos textos apresentados aos entrevistados, não são interpretadas dentro de seus significados originais, mas assimiladas a visões sobre interdisciplinaridade: mais do que a redução de uma Ciência a outra, os pós-graduandos vêem as Ciências como interligadas, como sendo interdependentes.

Considerando essas respostas, na sequência da entrevista, foi explicado aos pós-graduandos que os textos se referiam à redução das teorias Químicas às da Física. Essa explicação fez com que os doutorandos procurassem articular outros aspectos peculiares à Química, tendo sido possível observar, uma vez mais, a ênfase no caráter experimental dessa ciência.

QF2: Química é uma ciência experimental por excelência. Então nós queremos resultados experimentais. A teoria é ótima. Adoramos teoria... gosto muito de teoria, mas precisamos de resultados experimentais. Sem eles não dá.

QA2: Acho que... tem a conexão entre a teórica e a experimental, né? Só que, nem tudo que é proposto teoricamente, funciona experimentalmente. É isso que eu acho que diferencia...

QI2: Mas só que na área de síntese... até o pessoal que faz Ciências Moleculares aqui, a parte de laboratório de Química mesmo, não viu no curso, não fez iniciação... é complicado porque não sabe fazer nada no laboratório... o básico, assim, uma filtração... você tem que estar explicando pra ele... então, às vezes, não vai. Essa primeira questão aqui da aquosidade... o próprio entendimento assim, a própria visão do Químico sobre aquele fenômeno, é diferente do Físico. Eu acho que isso aí também tem a ver com o tipo de abordagem, como é que ele foi educado , assim, na faculdade.... Na maneira como ele enxerga a ciência, né?

Observa-se, portanto, que os pós-graduandos, diante da constatação de que os autores citados referiam-se à redução da Química à Física, buscaram argumentar contra essa posição e, para isso, procuraram distinguir a Química – mais experimental, da Física – mais teórica, o que está de acordo com algumas opiniões encontradas na literatura. Porém, vale ressaltar que, mesmo considerando que a Química abrange aspectos quantitativos, ela relaciona esses aspectos com qualidades (mudança de cor, liberação de energia ou gás, etc.) e conceitos classificatórios (ácido, sais, etc.); enquanto muitos conceitos físicos são de natureza matemática (Erduran & Scerri, 2002), não tendo uma referência intuitiva na realidade – sendo, portanto, mais caracteristicamente “teóricos”. Outra distinção apontada foi a relação estreita da Física com a Matemática e com a quantificação, e da Química com aspectos mais qualitativos. Esse aspecto é bem exemplificado pela fala do doutorando QF1:

P: No caso da orgânica... os orbitais... eles são explicados baseados nos orbitais da Física...

QF1: Sim, se você pegar quântica pura... tem uma série de equações que, se você olhar, você não consegue ver nenhuma representação pra aquilo, então, por algum artifício matemático, a gente faz algumas alterações, e a gente converte... consegue visualizar aquelas coisas, entendeu? Não que não faça sentido... faz! O que tá lá é a mais pura verdade, não é mentira... mas tudo é só representação... e os Químicos, eu acho que eles buscam muito isso... O que tem de diferente do Químico do Físico: O Físico prefere olhar pra equação, enquanto o Químico prefere olhar para o orbital ... é bem engraçado isso... e o Químico vai explicar suas coisas em cima daquilo... naquela representação que foi lhe dada... a Química Orgânica, por exemplo, é isso... a explicação dos mecanismos é basicamente isso...

QBQ2: Não sei. Talvez porque a Física remeta, a mim, e remeta, na maioria das pessoas, a fórmulas... talvez porque Física remeta a isso, e eu acho que a Química pode ser compreendida sem você precisar de tantos números. Não profundamente; não a magnitude de todas as forças, porque, pra isso, você precisa de números mesmo. Mas eu acho que o fundamento da Química, a parte mais básica, ela pode ser compreendida sem essa “numerária”, enfim...

Observa-se, na fala de QF1, o destaque que ele atribui a modelos “concretos” em Química, modelos que podem ser associados a uma imagem mental de uma entidade como uma molécula ou um orbital. Em Física, por outro lado, o mesmo orbital seria visto como uma entidade matemática, uma equação, não necessariamente associado ao contorno de uma região do espaço, sem referência intuitiva. Hoffmann (2007) considera que a manipulação das transformações químicas ajudam a reforçar esse realismo do Químico. Segundo Hoffmann, é difícil não acreditar que a estrutura de um composto é mesmo de uma determinada forma se, a partir daquela estrutura e propriedades conhecidas, consegue-se prever a formação de outra substância e, logo após, consegue-se sintetizar essa nova substância e ter evidências experimentais de que a estrutura prevista foi alcançada.

Novamente, depara-se com a dualidade macroscópico/microscópico da Química, sendo que as evidências das experimentações representam o macroscópico, e a interpretação do que está ocorrendo, o microscópico. Na fala dos doutorandos, essa dualidade apareceu inúmeras vezes, apontando para uma facilidade característica do Químico em transitar por esses níveis de entendimento. Em consonância com o ensino, essa transição já foi ressaltada como importante para o entendimento da Química, mas os estudantes têm muitas dificuldades (Johnstone, 2000; Gilbert & Treagust, 2009). A filosofia da Química, ao discutir aspectos epistemológicos, pode ajudar na maior compreensão dessa transição característica da química (Erduran et al., 2007).

Particularidades da Química: um delineamento inicial a partir das falas dos pós-graduandos

O levantamento exposto acima traz elementos para diversas discussões. Uma delas é como a ciência Química funciona, podendo levar a uma melhor estruturação dos conceitos a serem ensinados. Em uma abordagem preliminar, podemos sistematizar as formulações propostas pelos doutorandos entrevistados da seguinte forma: *A Química planeja e executa experimentos, para estudar os comportamentos das moléculas e das transformações das moléculas, de maneira mais qualitativa do que matemática, e mais mecanística do que descritiva*. Fenômenos químicos podem ser explicados em termos de teorias físicas não porque estas se constituam nos fundamentos das explicações químicas, mas porque as duas

Ciências apresentam uma sobreposição, uma interface muito frutífera para o entendimento dos fenômenos; daí a importância da abordagem interdisciplinar. O objetivo da Química está centrado na experimentação como ferramenta de interação com a matéria, que permite estudar o comportamento do conjunto de átomos e de moléculas, e não apenas o de partículas isoladas em si mesmas.

A questão experimental já foi apontada por Scerri (2000b), ao tratar da impossibilidade da redução da lei periódica à mecânica quântica e por Schummer (2004). Nas entrevistas realizadas, o caráter peculiar dos experimentos na construção do conhecimento químico foi bastante citado pelos doutorandos – os quais concebem o caráter experimental como uma característica definidora da Química. Investigações adicionais são necessárias para detalhar melhor como os pós-graduandos entendem a diferença do papel do experimento na Física, na Química e na Biologia, por exemplo, o que poderá ser investigado futuramente.

Retomando o modelo de rede para o conhecimento (Machado, 1999), citado na introdução deste trabalho, podemos interpretar que, na concepção dos doutorandos entrevistados, haveria um “nó” na interface entre a Física e a Química: o modelo atômico. Entretanto, as relações estabelecidas entre esse nó e outros aspectos de cada uma das disciplinas, bem como os objetivos de cada uma delas, são distintos. Assim, o conceito de modelo atômico precisa de um feixe de relações para ser compreendido. A Química trata de experimentos que produzem evidências bastante concretas, sensíveis, o que faz com que a teoria envolvida ganhe não somente grande aceitação entre os químicos, mas também que estes adotem uma postura marcadamente realista no que tange a átomos e moléculas.

Para os pesquisadores em formação na área de Química, conhecer somente o modelo de um átomo, sua forma, a equação que descreve a probabilidade de encontrar um elétron em certa região do espaço, não produz um significado. Para haver significado é necessário construir relações em torno do conhecimento empírico de transformações químicas, da manipulação e síntese de novas substâncias. Assim, a Química tem como grande característica lidar com as transformações químicas através de experimentos, e relacionar os dados experimentais com as interações entre as moléculas e dentro das moléculas – ou seja, são necessários modelos atômicos para dar conta dessas explicações – mas os mesmos modelos não trazem significado se tratados isoladamente, de maneira não relacional. As opiniões dos doutorandos mostram que eles não entendem as relações entre a Química e a Física sob o prisma reducionista, mas são mais bem caracterizadas à luz do modelo de rede para o conhecimento científico: para os entrevistados, existem nós entre essas duas ciências.

Referências bibliográficas

Bardin, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 700. 2009, 281 p.

Benfey, T. Reflections On The Philosophy Of Chemistry And A Rallying Call For Our Discipline. *Foundations of Chemistry*, 2000. v. 2, p. 195–205.

Bhushan, N.; Rosenfeld, S. *Of minds and molecules: New philosophical perspectives on chemistry*. New York: Oxford, 2000. 299 p.

Erduran, S.; Scerri, E. The nature of chemical knowledge and chemical education. In: *Chemical Education : Towards Research-based practice*. 2002, p. 7-27.

El-Hani, C.N. Notas sobre o Ensino de História e Filosofia da Ciência na Educação Científica de nível superior. In: *Estudos de História e Filosofia das Ciências*. Silva, C. C. (org). São Paulo: Ed Livraria da Física, 2007, p.3-21.

Erduran, S., Aduriz-Bravo, A., & Mamlok-Naaman, R. Developing epistemologically empowered teachers: examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. *Science & Education*, 2007, 16 (9–10), p. 975–989.

Gilbert, J. K., & Treagust, D. (Eds.). *Multiple representations in chemical education*. The Netherlands: Springer. 2009, 367p.

Hoffmann 2007 What might philosophy of science look like if chemists built it? *Synthese*, v. 155, n. 3, Abril 2007, p. 321-336.

Jenkins, Z. Do you need to believe in orbitals to use them? Realism and the autonomy of Chemistry. *Philosophy of Science*. 2003, v. 70, p. 1052-62.

Johnstone, A. H. Teaching of chemistry: logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2000, v. 1, n. 1. p. 9-15.

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.

Labarca, M.G. e Lombardi, O. *The ontological autonomy of the chemical world. Foundations of Chemistry*. 2005, v. 7, n. 2, p. 125-148.

Labarca, M.G.; Lombardi, O. Why orbitals do not exist? *Foundations of Chemistry*. 2010, v. 12, p. 149-57.

Labarca, M.G. Filosofia de La química: a poco más de diez años de su nacimiento. In: *Filosofía e história da ciência no Cone Sul*. Martins, R.A. et alii (org). Campinas: AFHIC. 2010, p. 414-422.

Lima, M.E.C.C.; Barboza, L.C.. Idéias estruturadoras do pensamento químico. *Química Nova na Escola*. maio de 2005, n. 21, p. 39-43.

Machado, N.J. *Conhecimento e valor*. São Paulo: Moderna. 2004, p. 16-18.

Machado, N.J. *Epistemologia e didática: As concepções de conhecimento e inteligência e a prática docente*. São Paulo: Cortez. 3º Ed. 1999, p.117-196.

McIntyre, L. The emergence of the philosophy of chemistry. *Foundations of Chemistry*. 1999, v.1, p. 57-63.

Scerri, E. R. La nueva filosofía de la química y su importancia en la educación química. in: *La esencia de la química: Reflexiones sobre filosofía y educación*. Chamizo, J. A. (ed.), México: FQ-UNAM, 2007, p.181-192.

Scerri, E. R. Realism, Reduction and the “intermediate position”. In: *Of mind and molecules: New philosophical perspectives on chemistry*. Bhushan, N. & Rosenfeld, S. (Ed). 2000b, p.51-72.

Scerri, E. R. The Ambiguity of Reduction. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2007, v. 13 , n. 2, p. 67-81.

Scerri, E. R. Have orbitals really been observed? *Journal of Chemical Education*. 2000a, v. 77, p. 1492-4.

Schummer, J. Why do chemists perform experiments? in: D. Sobczynska, P. Zeidler, E. Zielonacka-Lis (eds.), *Chemistry in the Philosophical Melting Pot*, Frankfurt: Peter Lang, 2004, p. 395-410.

Schummer, J. (ed.). 1999–2000. *Models in Chemistry*. Special issue of *Hyle* 5:2 (“Models in Theoretical Chemistry”); 6:1 (“Molecular Models”); 6:2 (“Modeling Complex Systems”).

Schummer, J. Dealing with Radical Change and Material Complexity: An Introduction to the Philosophy of Chemistry. In: Allhoff, F. (ed.), *Philosophy of the Special Sciences*. Albany: Suny Press, 2008, p. 1-13.

Sjöström, J. The Discourse of Chemistry (and Beyond). *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2007. v 13, v 2, p. 83-97.

Talanquer, V. School Chemistry: the need for transgression. *Science & Education*. 2011, Setembro, p. 1-17.