UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Doutorado Interunidades em Ensino de Ciências
Modalidade Química

ANIELLI FABIULA GAVIOLI LEMES

EVIDÊNCIA NÃO EVIDENTE:

AS EXPLICAÇÕES EM UMA DISCIPLINA DE QUÍMICA GERAL

ORIENTADOR: Paulo Alves Porto

São Paulo

2016

ANIELLI FABIULA GAVIOLI LEMES

EVIDÊNCIA NÃO EVIDENTE:

AS EXPLICAÇÕES EM UMA DISCIPLINA DE QUÍMICA GERAL

Tese apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Ensino de Ciências.

Versão corrigida da tese. A versão original se encontra disponível na Biblioteca do Instituto de Física e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD).

Área de concentração: Ensino de Química

ORIENTADOR: Paulo Alves Porto

São Paulo

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE TRABALHO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE. A REPRODUÇÃO COMERCIAL, EM TODO OU EM PARTE, POR QUALQUER MEIO, SOMENTE É PERMITIDA COM EXPRESSA AUTORIZAÇÃO ESCRITA DO AUTOR.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Lemes, Anielli Fabiula Gavioli

Evidência não evidente: as explicações em uma disciplina de química geral. São Paulo, 2016.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alves Porto
Área de Concentração: Ensino de Química

Unitermos: 1. Química – Estudo e Ensino; 2. Químicos; 3. Química e Aspectos Filosóficos; 4. Química – Experimentação e Experimentos

USP/IF/SBI-042/2016

**Para meu marido e minhas meninas, que me deram toda
atenção especial e força para eu pudesse construir este texto e
atravessar este processo formativo.**

Agradecimentos

Ao meu orientador, Paulo, que teve muita paciência, atenção e sabedoria, fundamental para que eu chegar onde cheguei.

Ao meu marido Carlos, minhas meninas Dorinha e Cake, minha mãe Vanilde, meu padrasto Silvio e meus irmãos Allison e Claudinéia, que constituem a minha amada família.

Aos meus amigos pela troca de experiências, parceria, acolhida em suas casas, forrós, cervejas, tequilas, discussões, choros, colo, risadas, leituras, carinho, ajuda na coleta de dados: Tatiana Tavares, Janaína Ornellas, Camila Miranda, Karina Souza, Cibele Lima, Debora Medeiros, Marina Joaquim, Bruna Crippa, Mariane (Guesse) Silva, Gustavo Cruz e Camila Cicuto.

Aos membros do grupo GHQ e principalmente ao Evandro pelas leituras, discussões com construções e desconstruções, à Mariana com seus incentivos, guloseimas e cervejas e ao Zé Otávio com suas leituras e críticas.

Às ajudas do pessoal da secretaria da CPGI; Às críticas da banca de qualificação; e aos sujeitos que participaram desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Pessoa, Prof. Dr. Flavio Maximiano, Profa. Dra. Lucia Sasseron e Profa. Dra. Regina Kawamura pela atenção a minhas perguntas e reuniões sobre o meu projeto.

À FAPESP pelo suporte da bolsa do processo nº 2013/11498-0.

Enfim, obrigada a todas as pessoas que contribuíram para essa etapa e para meu desenvolvimento como pessoa e profissional. Tenho consciência que eu sou o resultado da confiança e da força de todos que passaram pela minha vida, não só os que foram listados aqui.

PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE TESE E EU

Tese, uma catarse intelectual e afetiva.

A minha, uma relação com a filosofia, química e educação.

Eu? Um ser em construção que não se encerra nesse texto, mesmo que a
construção dele quase que acabou comigo.

Tese, um produto de uma construção visceral, conflituosa, acadêmica, política e
ideológica.

A materialidade de um ato de resistência para a ocupação de um lugar.

Tese, um texto cheio de mim que acaba quando estou cheia dele.

Anielli F.G.Lemes

Resumo

Lemes, A.F.G. Evidência não evidente: as explicações em uma disciplina de química geral. 2016. 111p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Instituto de Biociências, Instituto de Física e Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

O presente trabalho recorre à Filosofia da Química como viés para investigar o processo de ensino-aprendizagem em duas disciplinas de Química Geral em um curso para formação de químicos. A investigação se baseou em diversas fontes: respostas dos estudantes via questionários, gravações de aulas, atividade dos estudantes em aula, resposta esperada pelo professor para essa atividade e entrevistas com professores das disciplinas, a fim de possibilitar a triangulação dos resultados. Procurou-se caracterizar a preferência dos estudantes e professores acerca dos tipos de teorias e evidências utilizadas em suas explicações. As teorias hipotéticas e as evidências experimentais mediadas por instrumentos analíticos, como o espectrofotômetro, foram preferidas pelos professores, mas os estudantes mostraram dificuldades em lidar com elas neste momento inicial de sua formação superior. Foi percebida, também, uma tensão subjacente entre a química das moléculas e a química das substâncias, cuja relação está internalizada pelos professores mas não pelos alunos, e que se reflete em suas escolhas pelos tipos de explicações. Essa tensão pode ser entendida a partir da relação entre fazer química (baseado fortemente em instrumentos para separação e caracterização de compostos, e nas teorias que descrevem a química das moléculas) e ensinar química em uma disciplina introdutória (como escolher conteúdos e abordagens que permitam entender a relação entre o nível fenomenológico macroscópico e os modelos explicativos submicroscópicos). Para o químico em formação, observar uma evidência experimental e relacioná-la com uma teoria que envolve entidades submicroscópicas para formar uma explicação é um processo muito complexo. Esse processo fica ainda mais complexo quando a evidência a ser utilizada é mediada por um instrumento. Assim, os resultados obtidos e apresentados nesta tese apontam para a questão de que a diferença entre os tipos de evidências experimentais (mediadas e não mediadas) não pode ser tratada como um conhecimento tácito no ensino superior de Química Geral.

Palavras-chave: Química Geral, Filosofia da Química, Ensino de Química, explicações na química, evidências experimentais

Abstract

Lemes, A.F.G. Evidence not so evident: explanations in a general chemistry course. 2016. 111p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Instituto de Biociências, Instituto de Física e Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

This thesis takes the philosophy of chemistry as a guide to investigate the process of teaching and learning in two general chemistry disciplines in a training course for chemists. In order to enable triangulation of results, the study relied on several sources: students' responses to questionnaires, recording of classes, classroom students' activities, expected responses by the lecturer for activities, and interviews with the lecturers. The investigation sought to characterize the preferences of students and lecturers about the kinds of theories and evidences used in their explanations. Lecturers preferred hypothetical theories and experimental evidences mediated by analytical instruments such as the spectrophotometer. However, students showed difficulties in dealing with such theories and mediated evidences in this initial stage of their education. A subjacent tension between the chemistry of molecules and the chemistry of substances, whose relation is internalized by the lecturers but not by the students, was also reflected in their choices for the types of explanations. Such tension can be understood considering the relationship between making chemistry (which is strongly based on instruments for separation and characterization of compounds, and on theories which describe the behavior of molecules) and teaching chemistry on an introductory course (which requires the choosing of contents and approaches to describe the relationship between the macroscopic phenomenological level and the submicroscopic explanatory models). For a chemistry undergraduate, observing an experimental evidence and relating it to a theory which involves submicroscopic entities to form an explanation is a very complex process. This process becomes even more complex when the evidence to be used is mediated by instruments. Thus, the results obtained and presented in this thesis point to the issue that the difference between the types of experimental evidences (direct or mediated) cannot be treated as a tacit knowledge in a General Chemistry university course.

Keywords: General Chemistry, Philosophy of Chemistry, Chemical Education, explanation in chemistry, experimental evidence

Sumário

Introdução.....	10
CAPÍTULO 1. Explicações nas Ciências Naturais e na Química	13
1.1 Explicações nas ciências naturais	13
1.2 Explicações na Química	20
CAPÍTULO 2. A experimentação na disciplina de química geral	29
CAPÍTULO 3. Aspectos metodológicos	32
3.1 Construção do instrumental metodológico	32
3.1.1 Criação dos questionários	39
3.2 Entrevistas	42
3.3 Sujeitos da Pesquisa.....	43
3.4 Coleta de dados.....	44
3.5 Procedimentos de análise dos dados	46
CAPÍTULO 4. Resultados e discussão: as evidências não evidentes.....	47
4.1 Análise inicial do questionário pré e pós-teste	48
4.2 Aprofundando a análise de dados dos questionários: questões 1b, 1d, 2 e 4 ..	50
4.3 Análise das primeiras aulas experimentais com evidências não mediadas.....	57
4.4 Análise do Experimento 4 de QGI: primeiro experimento com evidência mediada.....	65
4.4.1 O distanciamento entre as explicações dos alunos e do professor	68
4.4.1.1 A explicação sobre o fenômeno da cor	68
4.4.1.2 A explicação da cor em soluções diluídas.....	71
CAPÍTULO 5. Considerações Finais	75
Referências.....	81
Apêndice 1 – Lista de trabalhos levantados que utilizaram questionários pré- e pós-teste.....	96
Apêndice 2 – Questionário pré e pós-teste.....	101
Apêndice 3 – Formulário respondido ao final do pré-teste.....	106
Apêndice 4 – Roteiro de entrevista com os professores de Química Geral I.....	107
Apêndice 5 – Resumo do conteúdo ministrado nas 55 aulas gravadas e atividades coletadas	108

Introdução

A discussão sobre quais são as peculiaridades da Química permeia as pesquisas sobre o Ensino e a Filosofia dessa Ciência. O estudo exploratório que realizamos em nosso trabalho de mestrado (Lemes, 2013) apresentou a experimentação e sua relação com o realismo químico como características marcantes da química, a partir de entrevistas com dez doutorandos em química. Mas, como essa particularidade (experimentação e relação com o realismo) é construída nas disciplinas iniciais do curso de graduação em química? Em busca de possíveis contribuições para a reflexão e formação do químico, esta tese coloca em discussão questões sobre experimentação (e a valoração das evidências mediadas, relacionando-as ao realismo químico) e explicação na Química, a partir da análise das disciplinas de Química Geral I e Fundamentos de Química Experimental. Essas disciplinas são oferecidas aos alunos ingressantes no curso de graduação em Química do IQ-USP, e foram escolhidas para investigação por serem as primeiras disciplinas relacionadas à Química nesse curso superior. A disciplina Química Geral I aborda uma gama de assuntos que são retomados, de forma mais aprofundada, em diversas disciplinas posteriores do curso. Assim, segundo Silva e colaboradores (2003), essa disciplina possui um papel importante tanto na introdução dos conceitos químicos, quanto na motivação para a carreira em Química. Além disso, também pode ser um momento de iniciação às perspectivas filosóficas que estão imbricadas no discurso dos professores que ministram essa disciplina, e que se refletem em suas expectativas por determinadas respostas dos alunos nas avaliações.

O objetivo do presente trabalho é contribuir para a delimitação de quais elementos compõem a natureza da explicação na química, o que é e como se manifesta, em uma situação de ensino e aprendizagem. Sabemos que a tese não esgota a discussão sobre as explicações em química, mas traz elementos que são importantes e merecem ser considerados para a educação química e, principalmente, para o planejamento de disciplinas de Química Geral.

A partir da delimitação desses elementos, o que se pretende defender nesta tese é que as dificuldades do aluno iniciante, sobre a incorporação da lógica das explicações da química, estão relacionadas com a falta de explicitação da diferença entre os tipos de evidências (mediadas ou não mediadas) no processo de ensino-aprendizagem investigado. Essa falta de explicitação tem origem na perspectiva realista dos professores, adquirida após sua grande vivência experimental. Assim sendo, também explicitamos a complexidade de ensinar Química Geral para a formação do químico, ao focalizar aspectos que vão além da escolha de conteúdos e metodologias.

Para alcançar os objetivos, utilizamos uma análise comparativa de um conjunto de dados, que inclui: aulas gravadas; roteiros das aulas experimentais; respostas dadas pelos professores para as atividades dadas aos alunos (gabarito); respostas dadas pelos alunos nas atividades de aula; e entrevistas com os professores das disciplinas.

Para abordar as questões expostas acima, esta tese foi organizada em cinco capítulos. O Capítulo 1 é dedicado à exposição das ideias da Filosofia da Ciência (1.1) e da Filosofia da Química (1.2). Esse capítulo procura resgatar as discussões sobre explicação e teorias científicas na Filosofia da Ciência, para em seguida relacioná-las com as particularidades da Filosofia da Química. Na sequência, no

Capítulo 2 é feita uma revisão sobre os trabalhos relacionados ao ensino de Química Geral e de sua respectiva prática experimental, para caracterizar as perspectivas de pesquisa em ensino nessa disciplina. Na terceira parte do texto (Capítulo 3) é descrita a criação da ferramenta metodológica e a forma como foi feita a coleta de dados e análise.

No Capítulo 4, analisam-se os dados obtidos, com especial interesse sobre como são entendidas as explicações, as evidências experimentais, e a relação com a perspectiva realista no processo de ensino e aprendizagem da química para a profissionalização do Químico. Por fim, o Capítulo 5 integra as reflexões, expondo considerações finais, e também perspectivas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 1. Explicações nas Ciências Naturais e na Química

1.1 Explicações nas ciências naturais

Para discutirmos os elementos das explicações na Química partiremos do estudo de Carl Gustav Hempel (1905-1997), o qual fez uma proposição inicial sobre explicação científica no livro *Philosophy of Natural Science* (1966). Para Hempel (1966), o objetivo das ciências naturais não é a descoberta de fatos, mas sim desenvolver explicações a respeito dos fatos. A explicação científica é, então, examinada nos capítulos 5 e 6 de seu livro, nos quais ele descreve, além do formato das explicações científicas, os tipos de compreensões que elas fornecem. Assim, segundo Hempel, a explicação científica deve atender dois requisitos concomitantemente (pois se somente contemplar um requisito, não é considerada explicação para Hempel): relevância explicativa e testabilidade.

No que se refere à relevância explicativa, a informação trazida pela explicação precisa fornecer a descrição do fenômeno ou a previsão de um fenômeno. No tocante ao requisito de testabilidade, os enunciados da explicação devem ser capazes de ser testados empiricamente. No entanto, nem tudo o que é testado empiricamente tem, necessariamente, relevância explicativa, ou seja, o fenômeno não está explicado ele foi descrito, por exemplo; como também enunciados com relevância podem não ser passíveis de teste de forma direta, como a Gravitação Universal. Para satisfazer a esses dois requisitos, Hempel propõe os argumentos dedutivos-nomológicos (nos quais se parte de leis gerais para fatos particulares) e os indutivos-probabilísticos (nos quais se parte de fatos particulares, gerando as generalizações como um produto posterior desses dados particulares).

As explicações dedutivo-nomológicas (D-N) são um tipo de explicação científica nas quais se utiliza como estrutura do argumento o *explanandum*, que é o fenômeno descrito ou a conclusão a que se chega por meio das sentenças *explanans*. Os *explanans* são sentenças que expressam a informação explicativa, sendo, nesse caso, leis gerais. Ainda são entendidas como explicações desse tipo aquelas que não mostram as leis no seu enunciado de forma explícita, mas tácita. Para explicar isso, Hempel (1966) exemplifica: “a lama na calçada permaneceu no estado líquido durante a geada porque foi polvilhada com sal” (p. 52). A lama ficou líquida por CAUSA do sal adicionado a ela, isso porque PRESSUPÕE-SE que o ponto de solidificação da lama é mais baixo quando existe sal dissolvido nela, então os *explanans* podem fazer referência a leis gerais mesmo que implicitamente, quando a pessoa que a usa conhece os conceitos científicos.

As explicações probabilísticas se baseiam nas leis probabilísticas como *explanans*, mas ao contrário das explicações dedutivo-nomológicas, o *explanans* implica com alta probabilidade o *explanandum*, e não como uma conclusão invariavelmente verdadeira como nas explicações do tipo D-N. As conclusões nas explicações probabilísticas, que não são deduzidas das premissas e sim induzidas, têm somente a *possibilidade* de acontecer. Os dois tipos de explicações explicam um fato, a partir de referência de outros, com o qual o fato está ligado por leis probabilísticas, no caso das explicações probabilísticas, ou leis universais, no caso das explicações dedutivo-nomológicas.

Porém, percebe-se que, na química, apesar da estrutura de argumentação poder ser parecida com as D-N, utilizando da relação entre *explanans* e *explanandum*, atualmente o *explanans* é baseado na busca por causas que envolvem o uso de construtos teóricos (o que será discutido em maior profundidade

mais adiante, com base nos trabalhos de Fisher, 2003 e Scerri, 2000) e o *explanandum* abrange não somente fenômenos perceptíveis, mas também os não perceptíveis diretamente por meio dos sentidos, como aqueles que são mediados por instrumentos. Os fenômenos mediados estão repletos de uma carga teórica desde a construção do equipamento até o entendimento do sinal de saída, o qual é entendido como uma evidência mediada. Assim, para entender a complexidade das explicações na química, partiremos do entendimento dos tipos de teorias conforme proposto por Nagel, para compreender a mescla que a química faz das teorias para compor um argumento (explicação).

No livro *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation* de 1961, Ernest Nagel (1901-1985) escrutina o que são teorias científicas, mostrando os itens funcionais de uma explicação científica de modo dedutivo, podendo-se estabelecer um diálogo com a proposta de Hempel¹. Nagel delimita dois métodos – não estanques, mas entendidos como gradações – para se construir teorias científicas que empregam a noção descritiva da ciência: fenomenológico (ou macroscópico) e hipotético (ou submicroscópico). Essa distinção foi elaborada a partir da formulação feita pelo físico William J. M. Rankine (1820-1872) em 1855, em um contexto onde se propunha um sistema unificado para as ciências naturais, e no qual Rankine defendeu que as teorias físicas eram construídas a partir dos métodos fenomenológico e hipotético.

De acordo com a caracterização feita por Nagel, as teorias fenomenológicas são aquelas que abstraem propriedades dos fenômenos pelos sentidos, sendo seu enunciado construído majoritariamente de elementos observacionais. A mecânica

¹ O próprio Hempel (1966) sugere o trabalho de Nagel para aprofundamento das discussões a respeito dessa temática (p. 112).

newtoniana, a teoria da gravidade, a teoria de Fourier para a condução de calor e a termodinâmica clássica foram os exemplos de teorias fenomenológicas citados por Nagel.

As teorias fenomenológicas não são constituídas somente por descrições de fenômenos experimentais, como são as leis experimentais. As teorias fenomenológicas sugerem ou correspondem às descrições das evidências experimentais, mas vão além, produzindo postulados. Um exemplo dado por Nagel diz respeito ao conceito de velocidade instantânea de um ponto de massa (Nagel, 1961, p. 127). A velocidade é conceituada como o espaço percorrido por um objeto em determinada direção em um espaço de tempo, a qual pode ser medida experimentalmente mensurando o espaço percorrido pelo objeto e o tempo em que o objeto percorreu esse espaço. Como a velocidade instantânea é a velocidade de um objeto em um instante do percurso (instante de tempo), não pode ser medida, mas sim calculada. Assim, o conceito de velocidade instantânea é considerado por Nagel como sendo um postulado teórico de uma teoria fenomenológica, a mecânica de Newton.

As teorias hipotéticas, por sua vez, utilizam, em seus enunciados, majoritariamente, entidades teóricas construídas, ou construtos teóricos hipotéticos ou conjecturais. Esses construtos não são perceptíveis aos sentidos de maneira direta, porém estão sempre relacionados a evidências experimentais, tal como no método fenomenológico. Nagel classificou, como pertencente a esse tipo de teoria, a teoria molecular dos gases, a teoria ondulatória da luz, as teorias atômicas e as interações químicas.

Rankine defendeu que as teorias científicas baseadas no método fenomenológico teriam mérito superior, pois não se fundamentariam no que está

oculto, e sim nos fatos observados. Segundo Rankine, as teorias hipotéticas constituiriam um estágio preliminar à utilização do método fenomenológico. Diferentemente, Nagel salienta que o sucesso da teoria atômica em unir e sistematizar fenômenos químicos e físicos fez muitos cientistas, principalmente os químicos, serem persuadidos do sucesso das teorias construídas pelo método hipotético.

Para tentar explicar a preferência dos químicos pelas teorias hipotéticas, Good (1999) argumentou que haveria, entre os químicos, um maior consenso em torno da existência dos átomos muito antes de que o mesmo fosse estabelecido na comunidade dos físicos – na qual Rankine se inseria. Desde meados do século XIX, muitos químicos orientaram seus pensamentos em termos de átomos, principalmente na comunidade da Química Orgânica, que trabalhava com questões referentes a estrutura e isomeria das moléculas. Entre as décadas de 1920 e 1950, por sua vez, ocorreu a chamada revolução na química analítica, quando os métodos instrumentais agregaram novos tipos de conhecimento científico (Baird, 2002) que reforçaram a tendência em favor de teorias hipotéticas.

Apesar de alguns filósofos da química defenderem que a Química é a ciência das substâncias (Schummer 1997a; 1997b), neste trabalho vamos delimitar que a Química Clássica é a ciência das substâncias, caracterizada pela utilização de aparatos como vidrarias, balanças, medidores de ponto de fusão, mantas de aquecimento, termômetros, etc., que geram evidências mais diretas aos sentidos do observador (evidências não mediadas por “caixas pretas”, mas mediadas pela visão, por exemplo). Vamos assim distingui-la da Química Instrumental, a ciência das moléculas (ou, em termos mais gerais, a ciência das partículas submicroscópicas, que abrangem átomos, íons, moléculas, radicais livres, etc.), a qual também envolve

a manipulação de substâncias, mas por meio de instrumentos que medeiam a observação das evidências, como espectrômetros de massas, e aparelhos de ressonância magnética nuclear, que independem de propriedades macroscópicas das substâncias e permitem trabalhar com concentrações e quantidades muito pequenas de substâncias (estas evidências, apesar de serem também mediadas pela visão, constituem-se fundamentalmente pelas mediações possibilitadas pelos instrumentos ou “caixas pretas”). Por meio da Química Instrumental, além de identificar as substâncias, como na Química Clássica, o químico também determina a estrutura das moléculas. Assim, da Química Clássica para a Química Instrumental tem-se uma mudança do meio pelo qual são corroboradas tanto a existência das substâncias quanto suas propriedades. Essa mudança implica também em uma mudança de ontologia², discutida por Schummer (2002), e que será exemplificada e discutida mais adiante nesta tese, quando procedemos a análise das aulas experimentais.

A partir da revolução na química analítica, a elucidação de estruturas moleculares passou a ser feita por diferentes métodos analíticos (técnicas baseadas em diferentes princípios físico-químicos, tais como RMN, infravermelho e espectrometria de massas). Com a obtenção de resultados convergentes a partir de técnicas bastante distintas, a ideia da existência real da estrutura molecular foi, então, reforçada (Tontini, 1999). Assim, parece surgir uma nova fenomenologia, relacionada a evidências mediadas pela instrumentação analítica. Com isso, as explicações que utilizam teorias hipotéticas podem se relacionar com evidências mediadas e não mediadas, que podem basear argumentos ou posicionamentos

² Ontologia remete à discussão sobre a natureza do mundo, ou o que existe (Pessoa, 2009). Sendo assim, a ontologia química está ligada a discussões acerca da existência das entidades e construtos químicos.

mais realistas. No entanto, o sujeito pode usar teorias hipotéticas mesmo sendo antirrealista, de forma pragmática. Conforme será discutido mais adiante, na análise da aula sobre evidências mediadas (item 4.4), embora os alunos investigados incorporem explicações que utilizam teorias hipotéticas, eles ainda não relacionam a explicação com as evidências mediadas.

A incorporação de evidências mediadas no curso de Química pode ser relacionada à própria história do ensino de Química Analítica na Universidade de São Paulo (USP). Todos os alunos do curso de graduação em Química, no *campus* da Capital, ao longo das décadas de 1930 e 1940, cursavam disciplinas de Química Analítica Qualitativa (com métodos clássicos de identificação e separação das espécies químicas) e de Química Analítica Quantitativa (com métodos gravimétricos e volumétricos) (Araújo e Porto, 2014). O perfil dessas disciplinas permite inseri-las em nosso entendimento de Química Clássica. Percebe-se que, além do caráter essencialmente experimental das duas disciplinas, havia também forte apego ao caráter fenomenológico. Com a contratação do professor auxiliar Paschoal Senise em 1950, após um estágio nos Estados Unidos da América, esse paradigma começou a ser mudado, pois ele deu início ao processo gradual de inserção, no curso e na dinâmica de trabalho em laboratório dos químicos da USP, de metodologias instrumentais que utilizam evidências mediadas, tais como: técnicas eletroanalíticas, colorimetria, fluorimetria, espectroscopia de absorção, técnicas cromatográficas, etc. (Araújo e Porto, 2014). Quando Senise se tornou o professor responsável pela disciplina de Química Analítica, em 1955, ele modernizou esse componente curricular, bem como outras estruturas básicas do curso. Embora não se tenha abandonado a Química Clássica, mantendo-se a preocupação com a manipulação direta das substâncias no laboratório, e com a observação do

comportamento macroscópico³, a instrumentação foi sendo gradativamente incorporada ao fazer dos graduandos. Este ponto pode ser mais bem entendido ao focalizarmos algumas discussões sobre explicações na Química, promovidas por filósofos da Química, conforme apresentamos na próxima seção. Em seguida, no capítulo 2, procuramos estabelecer relações entre as explicações científicas/químicas, as evidências experimentais, o realismo e o ensino de química.

1.2 Explicações na Química

A natureza das leis e explicações científicas tem sido objeto de consideração em muitos trabalhos de Filosofia da Ciência, sendo que a maioria destes utiliza como modelo a Física (Dagher & Erduran, 2014). No sentido de identificar abordagens alternativas, fomos buscar contribuições de filósofos da Química para essa discussão, com o intuito de fazer um levantamento dos aspectos particulares das explicações em química.

Woody (2003) parte da discussão feita por Hempel, que expusemos na seção anterior – um enunciado é aceito como explicativo se existir uma certa relação entre o *explanans* e o *explanandum* – para argumentar que há relações entre o discurso explicativo e a identidade de uma disciplina científica. Assim, a explicação é a aplicação da teoria, sendo que essa aplicação envolve uma interpretação relacionada à regulação acordada pela comunidade científica disciplinar. No entanto, o fenômeno só será inteligível se a conexão com a teoria for clara.

³ As disciplinas de Química Analítica Qualitativa e Quantitativa foram consideradas, até o início da década de 1990, como a fundamentação do curso de graduação em Química no IQ-USP, as quais forneceriam aos estudantes as bases do que era considerado o pensamento químico.

Diferentes disciplinas têm modelos diferentes para caracterizar o que é inteligível, por conta dos seus valores e objetivos. Cada disciplina fornece seus exemplos de explicações, mas não se explicita por que determinada forma de explicar é aceita. Por conta disso, Woody (2003) conclui que, se o mecanismo de explicação não é explicitado, o conteúdo e a prática de uma dada disciplina científica não serão inteligíveis. Mas, qual seriam as particularidade das explicações em Química?

No sentido dos argumentos de Woody, Fisher (2003) ressalta que as explicações em Química são diferentes das abordagens mais familiares da Filosofia da Ciência, em geral baseadas na Filosofia da Física, como o modelo de Hempel e Oppenheim (1988). Esse modelo considera que o *explanandum* é deduzido do *explanans*, ou seja, o que há de “estranho” para explicar (*explanandum*) é explicado pelo “familiar” (*explanans*), o qual está relacionado ao conteúdo empírico de uma lei geral. Assim, uma evidência experimental é explicada se for dedutivamente dependente de uma lei, ou de um conjunto de leis. No entanto, as explicações em Química não se referem ao desenvolvimento de interpretação ou descrição de leis abrangentes, pois a regularidade dessas leis é controversa na Química (Fisher, 2003). As explicações em Química, para esse autor, têm como aspecto central o uso dos **construtos teóricos** como *explanans*, e não o conteúdo apenas empírico, como defende Hempel. Fisher ilustra essa diferença propondo, tentativamente, a utilização do modelo comumente utilizado pela Filosofia da Ciência em uma explicação Química:

“(1) sódio normalmente combina com bromo na proporção 1:1; (2) tudo o que normalmente é combinado com bromo em proporção 1:1, normalmente também é combinado com cloro na proporção de 1:1; (3) portanto, sódio é normalmente combinado com cloro na proporção 1:1.” (p. 17).

Porém, na Química atual, as evidências encontradas para um elemento não são tão diretamente estendidas para outros. As propriedades dos elementos são explicadas pelas teorias das ligações químicas; no exemplo sugerido por Fisher, a combinação entre o bromo e o sódio não explica a combinação entre o cloro e o sódio. Portanto, a natureza do *explanans* na química é diferente daquela proposta a partir do estudo da física.

Para entender quão diferentes são os *explanans* da Química, podemos nos basear nos argumentos de Scerri (2000) sobre a natureza das leis na química. A lei periódica dos elementos químicos, criada a partir das propriedades das substâncias simples e de seus compostos, é uma lei, mas com regularidades aproximadas. A lei periódica foi proposta por Mendeleev a partir de teorias fenomenológicas que estavam disponíveis na segunda metade do século XIX. A mecânica quântica foi incorporada *a posteriori*. A complexidade das moléculas poliatômicas e de suas transformações, assim como a lei periódica dos elementos, não pode ser deduzida somente a partir dos princípios da mecânica quântica, pois a Física só é capaz fazer cálculos precisos para átomos e moléculas relativamente simples (Ostrovsky, 2003).

Os químicos focalizam propriedades emergentes de sistemas que, geralmente, são muito complexos para que sejam usados modelos e métodos físicos (Brown, 2003). A teoria cinética pode ter surgido a partir do estudo do comportamento dos gases (volume variável, difusibilidade e compressibilidade) como uma extensão das leis mecânicas, utilizando a semelhança matemática entre a teoria cinética dos gases ideais e leis mecânicas, como a segunda lei de Newton, que descreve o comportamento de partículas macroscópicas em movimento. No entanto, Arrhenius acrescentou à teoria cinética a descrição das particularidades das substâncias e suas interações (formação e quebra de interações e ligações

entre as moléculas ou átomos), considerando o comportamento das substâncias gasosas. O complexo ativado, proposto por Arrhenius, é um modelo que procura explicar as evidências experimentais descritas. Para propor o conceito de complexo ativado, Arrhenius empregou as propriedades metafóricas do modelo representacional. Segundo Brown (2003), as propriedades metafóricas são utilizadas na tentativa de explicar conceitos abstratos a partir de experiências mais concretas. Por exemplo: o conceito de *mente* não é concreto, mas utilizamos propriedades relacionadas ao concreto (ou seja, propriedades metafóricas) quando enunciamos sentenças como “tirei da minha mente”, “essas coisas passam pela minha mente”, etc. Assim, Arrhenius se baseou na geometria das moléculas (modelo para o átomo e sua interação com outros átomos), comprimentos de ligação, entre outros modelos mais relacionais e menos exatos, para explicar o conceito de complexo ativado (Brown, 2003).

Hendry (2003) discorre sobre o advento da explicação mecânico-quântica relacionada à matematização exata do átomo de hidrogênio e seu espectro. Ele ressalta que esse tipo de explicação não estava preocupado com moléculas mais complexas, como, por exemplo, benzeno ou naftaleno (que envolvem interações entre um número de átomos da ordem de uma ou duas dezenas), como é peculiar na Química. Para explicar tais moléculas, os químicos utilizaram as teorias de valência e de orbitais moleculares, dando origem à Química Quântica. A Química Quântica, mesmo não utilizando a resolução exata da equação de Schrödinger para átomos de vários elétrons, trouxe subsídios para explicar as ligações químicas em moléculas complexas, por meio da incorporação de dados experimentais (como os fornecidos pelos métodos espectroscópicos), gerando regras qualitativas derivadas da mecânica quântica.

Needham (2003) trata do conceito de substância química, considerando que, mesmo com a utilização da explicação molecular, a noção macroscópica, em termos de continuidade da matéria, continua sendo utilizada nas explicações químicas. Por exemplo, para caracterizar uma dada quantidade de água – que é um tipo de matéria, ou seja, uma substância – pode-se congelá-la, a 1 atm, à temperatura de 0°C. No entanto, o estado físico, a temperatura e a pressão não podem ser atribuídos a moléculas individuais de água, pois são propriedades características de quantidades molares de matéria – isto é, a noção macroscópica segue sendo fundamental.

Vihalemm (2003) explora, por meio da Filosofia da Química, o conceito de espécies naturais (no original, *natural kinds*), integrantes de um grupo que reflete a estrutura do mundo natural. Considerando a Química como uma ciência propriamente dita, Vihalemm (2003) argumenta que as substâncias químicas devem ser entendidas como espécies naturais. Assim, as espécies naturais da Química (as substâncias ou espécies químicas), como a água ou mesmo a vitamina C sintética, estão relacionadas ao papel explicativo da ciência Química. Isso por que as espécies naturais da Química estão contidas na versão do mundo dos químicos, relacionada a suas teorias, atividades práticas, valores e objetivos. Neste ponto, podemos adicionar a perspectiva realista química, para embasar a ideia da vitamina C sintética também ser uma espécie natural.

Stemwedel (2003), a partir da análise de livros introdutórios e artigos de pesquisa da área de Química, investiga o uso do verbo *causar* ou a relação causal (afetar, influenciar, provocar, fazer com que efeito) nas explicações em Química. Químicos explicam, manipulam os fenômenos e controlam sistemas químicos, encontrando uma relação causal entre eles em termos de atração e repulsão dos

átomos, ligações, comprimento de ligações, ângulos de ligações, distribuição eletrônica, movimento molecular, etc., estabelecendo cadeias de relações causais. A cadeia causal estratifica um ponto até a satisfação do químico. Ele não precisa ir até os quarks, como os físicos, para entender os processos químicos, pois a atração e a repulsão entre partículas com cargas elétricas, como prótons e elétrons, fornece explicações suficientes. Mas Stemwedel argumenta que o verbo *causar* esconde as cadeias causais em caixas pretas. Em determinadas situações, podemos dizer que a própria instrumentação analítica exerce a função de uma caixa preta. No contexto deste trabalho, entendemos que, para o químico iniciado, uma cadeia causal criada pelas evidências geradas pelos instrumentos analíticos (espectrômetros, cromatógrafos, etc.) se constitui em um hábito incorporado; mas, para um aluno do primeiro semestre de graduação em Química (químico iniciante), isso ainda não é um conhecimento tácito.

Del Re (2000; 1998) discute o aumento do nível de acesso ao objeto da Química, por meio de instrumentos (constituindo o nível de acesso direto estendido ou, como expusemos na seção anterior, evidências mediadas). Com o desenvolvimento dos equipamentos, houve o aumento na confiança acerca do que é observado, ainda que essas observações estejam baseadas em inferências.

Laszlo (1998) entende o surgimento e utilização de novos aparatos de medição (os instrumentos) como uma tendência à desmaterialização do conhecimento químico, o que, para nós, se constitui em maiores dificuldades para se ensinar Química, pois esta ciência se torna cada vez mais abstrata. Laszlo defende que os instrumentos aumentaram a sensibilidade de medição, mas se distanciam da realidade, ao substituírem as percepções imediatas (cor, textura, volatilidade, etc.) por entes submicroscópicos idealizados. Com isso, Laszlo afirma

que a única realidade é o registro do espectro, que é uma linguagem associada a um significado, ou seja:

Na análise espectral não estamos lidando com um acoplamento arbitrário entre o signo e o que está sendo representado. Ao contrário, existe uma base intrínseca para tal associação, ambos empíricos e necessários: um pico dado, a uma certa frequência e de uma certa forma, no espectro de RMN de etanol, significa metila, não porque eu quero que seja assim, mas porque é realmente assim. O único aspecto arbitrário, aqui, é a denominação do termo "metila" para este grupo de átomos, CH_3 (Laszlo, 1998, p. 5).

O pico no espectro de RMN, referido por Laszlo no exemplo acima, seria um índice da presença do grupamento metila na molécula. De acordo com a fenomenologia e a teoria dos signos de Charles Sanders Peirce (1839-1914), os signos com características indiciais ou índices são aqueles cuja relação com seu objeto é factual: o signo indica seu objeto. No exemplo de Laszlo, o pico espectral é um índice que aponta para a presença de seu objeto, que é o grupamento metila na molécula. Generalizando, os espectros seriam índices das estruturas submicroscópicas, as quais seriam inacessíveis sem a mediação da instrumentação. Os objetos da Química são ideias construídas pela atividade do químico, que interage com a realidade por meio de experimentos (gerando índices) e a interpreta, gerando teorias e modelos. Essas teorias e modelos são expressos e disseminados por meio de outros signos, em geral de caráter icônico ou simbólico (linguagem química: desenhos de estruturas moleculares, orbitais, equações químicas, fórmulas moleculares, etc.). Estes signos são interpretados pelos estudantes, que geram seus conceitos sobre os objetos criados pela atividade do químico. Portanto, a maneira como se entendem as relações entre os signos e seus objetos, no processo de construção de teorias e sua comunicação entre pesquisadores e químicos profissionais, difere daquela que ocorre na sala de aula entre os aprendizes. Essas relações podem influenciar a ideia de "realidade" que os

alunos desenvolvem em relação às entidades químicas (Souza e Porto, 2011, 2012).

O modelo molecular tem semelhança com uma realidade postulada, misturando convenções com fatos e, deste modo, tem um grande papel operacional. Assim sendo, o laboratório de Química é entendido por Laszlo como sendo o lugar onde, além de se produzir novas substâncias, são produzidos, principalmente, novos conceitos. O processo por meio do qual o laboratório de Química produz novos conceitos, pela interpretação dos indícios gerados em laboratório à luz de teorias e modelos incorporados pelos químicos, requer ampla vivência experimental – que os químicos iniciantes evidentemente ainda não têm. Daí se seguem algumas das dificuldades nas etapas iniciais de sua formação.

Diante do exposto, certas particularidades das explicações em Química estão relacionadas ao tipo de evidências (não mediadas e mediadas) envolvidas. Considerando a característica perspectiva realista dos químicos, esses profissionais atribuem maior confiabilidade às evidências mediadas, que se referem às entidades submicroscópicas. Para o pesquisador químico profissional, a medição de um ponto de fusão não mais é suficiente para a identificação de uma substância no contexto de um artigo para publicação: é necessário fornecer evidências mediadas, mais precisas e sofisticadas, como espectros de RMN e de massas. Considerando, por outro lado, o processo de ensino e aprendizagem do químico iniciante – nesse outro contexto, o que o químico iniciado valoriza? Para tentar embasar uma resposta a essa pergunta, foi feito um levantamento de artigos sobre o ensino experimental na disciplina de química geral, para caracterizar o que foi pesquisado sobre a introdução da experimentação na profissionalização do químico, a fim de trazer

subsídios para a investigação do processo de ensino e aprendizagem inicial de explicações em química.

CAPÍTULO 2. A experimentação na disciplina de química geral

No intuito de investigar não apenas a natureza das explicações em Química, mas também o processo de ensino e aprendizagem dessas explicações, procedemos ao levantamento de trabalhos que tratam da disciplina de Química Geral, em quatro periódicos que publicam pesquisas em Ensino de Química: *Journal of Research in Science Teaching*, *Chemistry Education Research and Practice*, *Journal of Chemical Education* e *Química Nova*, no período de 1990 a 2015. Dentre os artigos levantados utilizando as palavras “general chemistry” e “química geral”, foram selecionados 90, tendo como critério o fato de tratarem da parte experimental da disciplina de Química Geral.⁴

⁴ Os artigos selecionados foram: Josephsen, 2003; Sandi-Urena *et al.*, 2011; Kennepohl, 2007; Walker e Sampson, 2013; Fong, 2004; D'amelia *et al.*, 2006; D'amelia *et al.*, 2007; D'amelia *et al.*, 2008; Furlan e Melcer, 2014; Solow, 2004; Olsen, 2008; Kalivas, 2008; Nyasulu *et al.*, 2013; Everest e Vargason, 2013; Lindquist *et al.*, 2007; Griep e Mikasen, 2005; Yang e Tsai, 2006; Hansen, 1996; Blanco e Romero, 1995; Copper e Koubek, 1998; Wimpfheimer, 2004; Domin, 1999; Zhao e Wardeska, 2011; Linenberger *et al.*, 2011; Chen e Yaung, 2002; Maines e Bruch, 2012; Pfenning e Schaefer, 2011; Ling e Bridgeman, 2011; Csizmar *et al.*, 2011; Xu e Talanquer, 2013; Clark e Chamberlain, 2014; Iler *et al.*, 2012; Nyasulu *et al.*, 2012; Pavel *et al.*, 2012; Cacciatore e Sevia, 2006; Cacciatore e Sevia, 2009; Martin *et al.*, 2015; Taylor *et al.*, 2009; Cessna *et al.*, 2009; Winkelmann *et al.*, 2015; Tomasik *et al.*, 2013; Abraham *et al.*, 1997; Vitz e Egolf, 2002; Ni *et al.*, 2015; Shipp *et al.*, 2001; van Staveren *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 1999; Davis *et al.*, 2003; Bosma, 1998; Henderson e Mirafzal, 1999; Vannatta *et al.*, 2010; Golde *et al.*, 2006; Ticich, 2011; Selco *et al.*, 2003; Maurer *et al.*, 2010; Pence e Workman, 2006; Wesolowski, 2014; Black, 1996; Nyasulu *et al.*, 2002; Bindel, 2012; Hopkins e Samide, 2013; Hagan *et al.*, 2007; Hartman e Lin, 2011; Carvalho-Knighton e Keen-Rocha, 2007; Donlin *et al.*, 1998; Wenzel, 2001; Borgsmiller *et al.*, 2012; Darveau *et al.*, 2004; Pinto e Rohrig, 2003; Bunting *et al.*, 1997; Bowen *et al.*, 2000; Corcoran *et al.*, 2011; Furlong *et al.*, 2009; Staskun *et al.*, 1991; Amend *et al.*, 1990; Spector, 1994; Dewit, 2006; Coffin, 1993; Cepriá e Salvatella, 2014; Arrington *et*

A maioria dos artigos selecionados trazem propostas de experimentos para ensinar certos conteúdos considerados na literatura como difíceis de aprender, mas não tratam explicitamente de como os conceitos são construídos, ou qual a conexão lógica entre as evidências experimentais e os conceitos teóricos.

O trabalho de Pulliam e colaboradores (2015), por exemplo, traz uma proposta para o ensino da leitura de espectros da técnica de RMN, em uma disciplina de Química Geral, a fim de auxiliar o entendimento dos alunos a respeito de estruturas químicas. Nesse trabalho, a evidência mediada é entendida de forma tácita, pois nada se discute sobre a necessidade de explicitar a relação entre evidência e teoria; tampouco é problematizada a questão de haver diferentes tipos de evidências (mediadas ou não) que convergem para uma mesma explicação. Treagust e Chittleborough (2001), por sua vez, enfatizam o papel da experimentação, principalmente, na explicitação da relação entre as evidências experimentais, os conceitos e os modelos químicos, o que não é feito na maioria dos artigos levantados para o ensino de Química Geral.

No conjunto dos trabalhos selecionados, três deles tratam da compreensão de aspectos teóricos a partir de evidências experimentais (Avargil *et al.*, 2015; Havdala & Ashkenazi, 2007; Krystyniak & Heikkinen, 2007). Avargil e colaboradores (2015) tratam da relação entre aspectos macroscópicos e microscópicos no processo de compreensão de observações químicas, e sugerem a utilização de analogias como alternativa para o ensino. A objeção que se pode fazer é que a utilização de analogias proposta por Avargil e colaboradores (2015) pode conduzir à construção ou reforço de concepções alternativas para os conceitos que se está

al., 2008; Ricci e Ditzler, 1991; Olmsted, 1998; Mihok *et al.*, 2006; Sweeder e Jeffery, 2013; Simoni *et al.*, 2002; Simoni *et al.*, 2011.

procurando ensinar. Os trabalhos de Havdala & Ashkenazi (2007) e Krystyniak & Heikkinen (2007) abordam a relação entre teoria e evidências, recorrendo ao referencial da natureza da ciência. No entanto, o objetivo desses trabalhos foi buscar uma melhor caracterização a respeito da visão de ciências dos alunos ingressantes em cursos de Química, e não investigar o processo de ensino e aprendizagem da relação entre teoria e evidências.

Foi possível observar que os artigos localizados no levantamento bibliográfico realizado trazem, majoritariamente, propostas de experimentos para abordar um dado conteúdo de Química Geral, tendo como pressuposto que, mudando-se a perspectiva e, principalmente, adicionando uma técnica que gera uma evidência mediada, os alunos vão ter mais clareza sobre os conceitos teóricos abstratos da Química. Entretanto, parece-nos que, no que se refere aos problemas de aprendizagem em Química Geral, a falta de perspectiva sobre os fenômenos experimentais não é um ponto central, mas sim a diferença de vivência, e consequentemente de perspectiva filosófica (mais especificamente, de caráter epistemológico), que separam os alunos de seus professores. Tal diferença implica em concepções distintas sobre qual a relação entre teoria e fenômeno e, mais ainda, sobre o entendimento da natureza das evidências e valoração de um tipo de evidência em detrimento de outra.

Estabelecidos esses referenciais de natureza teórica, são feitas no capítulo a seguir algumas considerações sobre aspectos metodológicos da pesquisa realizada.

CAPÍTULO 3. Aspectos metodológicos

A presente pesquisa coletou os dados de forma longitudinal, buscando dados em diferentes fontes para obter uma triangulação das informações – a qual permite comparar vários pontos de vista sobre o mesmo fenômeno. Os dados foram obtidos das seguintes fontes: registro em vídeo das aulas das disciplinas; registros de atividades dos alunos nas disciplinas; registro dos gabaritos de atividades dos alunos; anotações de campo; aplicação de questionários pré e pós-teste; e entrevistas com os professores das disciplinas.

3.1 Construção do instrumental metodológico

Os instrumentos da pesquisa foram selecionados após a análise do questionário pré e pós-teste, cuja elaboração precedeu à dos demais instrumentos. Para fundamentar a construção do questionário pré e pós-teste, foi realizado um levantamento de artigos em três dos periódicos classificados na categoria A1 do *Qualis* da Capes para a área de Ensino (sucessora da antiga área de Ensino de Ciências): *International Journal of Science and Mathematics Education*, *International Journal of Science Education*, e *Chemistry Education Research and Practice*, buscando-se a palavra “*pre-test*” nos *abstracts* e no corpo dos textos, no período de 2000 até final de 2013. Além dos artigos desses periódicos, dois *handbooks* foram consultados: Cohen e colaboradores (2007) e Campbell e Stanley (1963). Foi dada prioridade a artigos e não a resumos publicados em anais de congressos, pois os artigos disponibilizam mais espaço para o detalhamento do trabalho e, assim, apresentam maior probabilidade de descrever, em detalhes, a metodologia utilizada. Foram encontrados 104 artigos que usaram questionários pré e pós-teste. Desse conjunto, foram excluídos os artigos sobre motivação, pois buscávamos pesquisas

cujos objetivos fossem testar habilidades ou conteúdos. A maior dificuldade encontrada nesse levantamento foi a falta de descrição ou clareza a respeito de como esses questionários foram criados, e qual o formato desses questionários (se as questões eram abertas ou de múltipla escolha, por exemplo). Por conta disso, artigos que somente citavam a utilização de questionários pré e pós-teste, mas não tinham nenhum tipo de menção sobre como os testes foram criados ou sua natureza, também foram descartados, pois não contribuiriam para a construção da metodologia desta pesquisa. Ainda assim, a maioria dos artigos que integram esta revisão não possui um detalhamento aprofundado de como os questionários foram elaborados e as razões da escolha das questões, de seu formato e da forma de aplicação. No entanto, o conjunto dos artigos analisados forneceu subsídios para a construção do questionário utilizado na presente pesquisa.

Foram selecionados 68 artigos, cuja maioria tinha como objetivo avaliar o processo de aprendizagem de alunos de ensino médio ou superior, comparando acertos e erros entre um questionário e o outro, e ainda, quais os tipos de mudanças conceituais observadas. Também foram localizadas pesquisas envolvendo avaliação e comparação entre currículos, e sua influência na aprendizagem de conceitos; e pesquisas avaliando como a mudança de recursos educacionais e metodologias influenciava a aquisição de conceitos. A maior parte dos questionários descritos nesses artigos foi construída a partir dos tópicos que seriam trabalhados na disciplina ou sequência didática relacionada; ou baseavam-se em revisões sobre concepções alternativas sobre o tema que investigavam. Para validar seus questionários, os autores os enviavam a especialistas no tema específico, como pesquisadores em química ou em ensino de química, ou ainda a professores do ensino médio e superior. Alguns artigos descreviam a realização de

estudos pilotos com um público semelhante ao que seria investigado, para testar se o questionário tinha linguagem adequada e conhecer o tempo necessário para sua aplicação.

A fim de organizar esse levantamento e sua análise, os artigos foram classificados em quatro categorias⁵: (1) questionários pré e pós-teste com questões iguais⁶; (2) questionários pré e pós-teste com questões iguais e entrevistas⁷; (3) questionários pré e pós-teste diferentes⁸; (4) questionários pré e pós-testes diferentes e entrevistas⁹.

Na categoria 1, a maioria dos trabalhos usou testes de múltipla escolha para avaliar a diminuição de erros e aumento de acertos. A utilização de testes com

⁵ A lista de referências deste levantamento, organizadas conforme as quatro categorias, se encontra no Apêndice 1.

⁶ Alikj *et al.*, 2007; Aydeniz *et al.*, 2012; Bamberger e Davis, 2013; Beerenwinkel *et al.*, 2011; Bilgin, 2006; Su, 2008; Brandstädter *et al.*, 2012; Budiman *et al.*, 2013; Cavallo *et al.*, 2010; Dass, 2005; Feng e Tuan, 2005; Fortus *et al.*, 2005; Gerstner e Bogner, 2010; Gregorius *et al.*, 2010a; Gregorius *et al.*, 2010b; Gobert *et al.*, 2011; Hamilton-Ekeke, 2007; Hawkins e Phelps, 2013; Hilton e Nichols, 2011; Howe *et al.*, 2013; Jennings *et al.*, 2007; Kaya, 2013; Kurbanoglu *et al.*, 2006; Martinez-Borreguero, *et al.*, 2013; Morgil *et al.*, 2004; Morgil *et al.*, 2005; Pilatou e Stavridou, 2004; Scharfenberg e Bogner, 2010; Seethaler e Linn, 2004; Sturm e Bogner, 2008; Supasorn *et al.*, 2008; Svihla e Linn, 2012; Treagust *et al.*, 2011; Viiri e Saari, 2004; Villafañe *et al.*, 2011.

⁷ Acar e Tarhan, 2007; Ayyildiz e Tarhan, 2013; Bailey *et al.*, 2012; Brown *et al.*, 2010; Çalik *et al.*, 2009; Chen e Cowie, 2013; Herbert, 2008; Hong *et al.*, 2008; Özmen *et al.*, 2009; Sendur e Toprak, 2013; Stavridou e Marinopoulo, 2001; Tao, 2004; Wilhelm *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2004.

⁸ Afra *et al.*, 2009; Bragg, 2012; Harskamp e Ding, 2006; Kaberman e Dori, 2009; Lubezky *et al.*, 2004; Randler e Bogner, 2009; She, 2005; Taylor e Jones, 2009; Veermans *et al.*, 2006; Wong *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2003.

⁹ Annetta *et al.*, 2009; Banet, E.; Ayuso, 2003; Bardini *et al.*, 2004; Cakmakci e Aydogdu, 2011; Cakmakci *et al.*, 2011; Demircioglu *et al.*, 2005; Jaber e Jaoude, 2012; Tosun e Taskesenligil, 2013.

questões iguais foi justificada nesses trabalhos pela facilidade para se comparar as respostas dos alunos.

Vários formatos de questionário foram encontrados nessa categoria. Os questionários das pesquisas de Gerstner e Bogner (2010) e Sturm e Bogner (2008) apresentavam diferenças nos questionários pré e pós-teste apenas na ordem dos itens dos questionários. Hamilton-Ekeke (2007) utilizou, em seu teste, questões de múltipla escolha e duas questões com lacunas a serem preenchidas. Fortus e colaboradores (2005), Hilton e Nichols (2011) e Kaya (2013) utilizaram testes com questões de múltipla escolha e questões abertas. Kaya (2013) adicionou as questões abertas para ter dados sobre a evolução da construção da argumentação com os conteúdos aprendidos. No questionário de Alikj e colaboradores (2007), as questões de múltipla escolha foram acompanhadas pela solicitação de explicações sobre a escolha das alternativas. Alguns autores preferiram somente questões abertas (Feng e Tuan, 2005; Seethaler e Linn, 2004; Viiri e Saari, 2004). Os autores Viiri e Saari (2004), além de utilizar questões abertas, complementaram seus dados com a gravação das aulas, para relacionar informações dos questionários com as falas do professor em sala de aula.

Alguns trabalhos utilizaram um questionário que foi intitulado de “reteste”¹⁰, para medir o efeito da intervenção na aprendizagem a longo prazo: Scharfenberg e Bogner (2010) aplicaram o reteste 6 semanas após o término das aulas; Cavallo e colaboradores (2010) aplicaram 2 semanas após; e Gerstner e Bogner (2010) aplicaram 6 meses após. Gerstner e Bogner (2010) complementaram os dados dos seus questionários pedindo também a construção de mapas conceituais; o mesmo

¹⁰ Os termos utilizados em inglês, encontrados nesses artigos, foram: *delayed post-test*, *retention test* ou *post-test 2*.

fizeram Brandstädter e colaboradores (2012). Aydeniz e colaboradores (2012), e Gobert e colaboradores (2011), por sua vez, recorreram a questionários Likert para avaliar o grau de certeza nas respostas dos sujeitos investigados. Svihla e Linn (2012) utilizaram informações obtidas em atividades realizadas ao longo da intervenção para complementar os dados dos questionários.

Na categoria 2, os autores utilizaram as entrevistas para compreender melhor as informações obtidas com os questionários pré e pós-teste iguais, ou para a construção do próprio questionário. A maioria das pesquisas que utilizavam entrevistas tinha como objetivo o aprofundamento das informações dos questionários e, por isso, as entrevistas eram feitas após a aplicação e análise dos questionários, utilizando os próprios questionários respondidos como fonte para os roteiros das entrevistas.

Yang e colaboradores (2004) fizeram entrevistas após a aplicação de cada teste: pré, pós e reteste. Çalik e colaboradores (2009) fizeram pré, pós e reteste com questionários iguais, mas com espaçamento de um mês entre as aplicações, para reduzir a familiaridade dos alunos com as questões. Na entrevista, os pesquisadores utilizaram o mesmo tema das questões para a investigação (tipos de soluções), porém os pesquisadores propuseram a discussão de um procedimento experimental para entender em profundidade o raciocínio dos alunos. O roteiro da entrevista basicamente teve o seguinte formato: o aluno deveria fazer o procedimento e explicar quais os termos que melhor poderiam descrever as soluções resultantes, fornecendo as razões para suas respostas.

Também foram encontradas nessa categoria pesquisas que utilizavam, além de questionários e entrevistas: gravação das aulas (Chen e Cowie, 2013; Hong et

al., 2008; Tao, 2004); análise de atividades durante as aulas (Wilhelm *et al.*, 2007); e construção de mapas conceituais (Nantawanit *et al.*, 2012).

Os trabalhos que utilizaram entrevistas para construir seus questionários tinham como objetivo fazer o levantamento das concepções dos alunos sobre o tema investigado, a fim de complementar a revisão da literatura (Sendur e Toprak, 2013); ou para validar um questionário que foi aplicado como piloto (Bailey *et al.*, 2012; Stavridou e Marinopoulo , 2001).

Bailey e colaboradores (2012) fizeram um trabalho sobre a criação e validação de um instrumento de pesquisa com o objetivo de realizar um levantamento de conceitos de astronomia, testando vários formatos: questionários com questões abertas, questionários com questões de múltipla escolha e questionários com questões de múltipla escolha acompanhadas da solicitação de explicação de sua escolha. Foram criadas três versões de questionários, que foram aplicados a públicos semelhantes. Seguiu-se uma análise por meio de entrevistas com os sujeitos sobre as respostas aos questionários e a clareza das questões. Astrônomos e professores de astronomia também analisaram as questões. A versão final do questionário foi composta por questões de múltipla escolha, que produzem pontuações e podem ser aplicadas a um grande número de sujeitos, e que foram criadas a partir da teoria de resposta ao item. As respostas às questões abertas das outras versões geraram os distratores das questões do questionário final. Os autores consideraram mais adequado utilizar o mesmo questionário no pré e no pós-teste, pois possibilitava um resultado comparativo melhor.

A maioria dos trabalhos classificados na categoria 3 não detalhou como os questionários pré e pós-teste, que eram diferentes entre si, foram construídos. Em geral, os autores trataram seus dados de forma estatística, não tendo sido possível

obter informações precisas acerca de como foram feitas as comparações entre as respostas.

Os testes observados nos artigos desta categoria se diferenciavam ou pela adição de questões ao pós-teste (Wong, 2009); pela mudança de contexto das questões (Harskamp e Ding, 2006); ou somente pela mudança dos valores numéricos apresentados nos problemas entre um teste e outro (Bragg, 2012).

Kaberman e Dori (2009) elaboraram dois tipos de questionários (QA e QB) e dividiram os sujeitos em dois grupos (GA e GB). O grupo A recebeu o QA no pré-teste e o QB no pós-teste. O grupo B recebeu o QB no pré-teste e o QA no pós-teste.

Na categoria 4, na qual os questionários pré e pós-testes eram diferentes e foram acompanhados de entrevistas, os trabalhos também apresentaram poucas informações sobre como foram criadas as questões e quais as correspondências entre elas. As entrevistas realizadas, nessa seleção de artigos, também tiveram como objetivos aprofundar as respostas dos alunos, verificar se as interpretações sobre as respostas eram adequadas, e obter dados para a criação dos questionários. Essas pesquisas também utilizaram várias fontes de dados para triangular seus resultados, da mesma forma como as mencionadas nas outras categorias. O único trabalho a se diferenciar foi o de Jaber e Jaoude (2012), no qual o intuito do pré-teste foi identificar as dificuldades dos alunos para modelar a intervenção. Em seguida, os autores utilizaram um pós-teste para avaliar a intervenção, e solicitaram a construção de mapas conceituais. As entrevistas foram feitas para obter explicações sobre os mapas conceituais construídos.

No que se refere aos *handbooks* consultados, Cohen e colaboradores (2007) argumentam que o pré-teste pode ter perguntas que diferem na forma ou redação

em relação ao pós-teste, embora os dois devam avaliar o mesmo conteúdo e com mesmo nível de dificuldade. Entretanto, os autores não fornecem maiores detalhes sobre como construir esses testes, nem dão exemplos do que seriam questões diferentes, mas equivalentes, para serem utilizadas no pré e no pós-teste. Campbell e Stanley (1963), por sua vez, consideram que não é necessário que o pré e o pós-teste sejam idênticos, mas salientam que é mais elevado o grau de covariância nos testes iguais do que nos testes com pequenas diferenças.

O levantamento realizado permitiu perceber que está mais consolidada a aplicação de pré e pós-testes iguais, para a comparação mais efetiva de possíveis alterações causadas pelas aulas nas respostas dos alunos. Mesmo que a maioria dos questionários seja de múltipla escolha, por conta da facilidade em se contabilizar os resultados, as questões abertas são as que trazem mais subsídios para se investigar, com mais detalhes e com menos influência sobre a escolha das palavras, as mudanças na argumentação e o domínio de conteúdos.

3.1.1 Criação dos questionários

Considerando o levantamento bibliográfico realizado, optou-se por utilizar questões abertas iguais nos questionários pré e pós-teste, abrangendo os principais tópicos abordados na disciplina de Química Geral. Essa escolha se justifica pela ampla utilização dessa forma de teste nas pesquisas em Ensino de Ciências, conforme exposto na seção anterior. Há também que se considerar que a aplicação do mesmo questionário permite obter informações sobre o desenvolvimento dos estudantes: ao estabelecer relações entre o que o estudante escreveu no início e no

final do semestre, pode-se tentar identificar as contribuições da disciplina para a modificação das compreensões iniciais.

O questionário utilizado nesta pesquisa foi elaborado com questões abertas, as quais permitem que o estudante se expresse de forma mais livre, favorecendo assim o levantamento das suas escolhas para explicações e exemplos.

O questionário, aplicado no início da disciplina, buscou levantar as preferências de formas de explicação dos graduandos em Química, anteriores a qualquer contato com o ensino superior de Química. Esse levantamento não teve como objetivo diagnosticar os conhecimentos químicos prévios dos estudantes aprendidos no Ensino Médio, mas caracterizar as formas de explicação iniciais e o entendimento das evidências mediadas ou não mediadas preferidas pelos alunos, e compará-las com as respostas dadas ao mesmo questionário, aplicado no final do semestre, para análise de possíveis mudanças.

Antes de ser aplicado ao grupo de alunos de nosso interesse, o questionário foi enviado a membros do nosso grupo de pesquisa (Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química - GHQ), para um exame prévio das questões e discussão de possíveis respostas. Esse grupo se constitui de pesquisadores em Ensino de Ciências, bem como professores de ensino médio e superior.

A partir das críticas dos membros do GHQ, o questionário foi reelaborado e aplicado, de forma piloto, a alunos ingressantes no curso de Química do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), *campus* Capital. Participaram 17 alunos, que assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido para a participação na pesquisa¹¹. O objetivo desse piloto foi obter dados preliminares que indicassem se o

¹¹ Termo elaborado a partir das diretrizes da Comissão de Ética da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

questionário estava adequado ao que pretendíamos pesquisar, se a linguagem estava adequada, além de fornecer uma prévia do padrão de respostas. O resultado foi satisfatório, pois a maioria das questões se mostraram claras, tendo sido obtidas respostas pertinentes aos temas. O questionário resultante desse processo, e que foi aplicado no pré e no pós-teste com os alunos do Instituto de Química da USP, é apresentado na íntegra no Apêndice 2.

A questão 1 apresentou uma pergunta com caráter mais geral, pois foi criada com o intuito de possibilitar livre escolha tanto de uma explicação mais ligada a teorias hipotéticas, quanto uma explicação ligada a teorias fenomenológicas, ou ainda uma mistura das duas vertentes. Sendo assim, ela pretendeu diagnosticar a preferência, em termos de tipos de teorias, para a explicação, no início da disciplina, ou seja, como os alunos entendem os fenômenos e quais suas escolhas para descrevê-los.

A questão 2 teve como objetivo saber qual o entendimento a respeito do que é uma explicação para o aluno iniciante. Por esse motivo, encontra-se explícita na pergunta uma referência à ação de explicar. As perguntas 3, 4 e 5 buscavam verificar quais relações os alunos estabeleciam ao comparar substâncias, instigando também a proposição de explicações. Além disso, essas questões permitiram um levantamento a respeito da experiência anterior dos alunos com evidências químicas mediadas ou não, especificamente no pré-teste.

Por sua vez, a questão 6 apresentava-se subdividida em duas partes, sendo que a primeira objetivou explorar relações entre o entendimento teórico e o linguístico, tendo em vista que a questão recorre a representações do mundo das partículas e à simbologia de equações químicas. A segunda parte da questão 6 foi planejada para explorar o conhecimento das evidências não mediadas que se

relacionam com o entendimento teórico hipotético abordado na primeira parte da questão, para também avaliar a vivência experimental prévia dos alunos, no caso do pré-teste.

Essas mesmas questões, quando aplicadas no pós-teste, buscavam identificar, além dos objetivos supracitados, a influência da abordagem realizada no contexto das disciplinas de Química Geral oferecidas no primeiro semestre do curso de Química, sobre as concepções dos estudantes.

Após responderem ao questionário pré-teste, os estudantes também foram solicitados a responder algumas questões que buscaram identificar aspectos de seu perfil individual, anteriores a seu ingresso no curso de Química (Apêndice 3).

Na questão 1 desse formulário, buscou-se a investigação da concepção de Química para o ingressante, por meio do questionamento da razão que o motivou ao ingresso no curso de Química. Já a segunda parte do questionamento - *quando* optou pelo curso de Química – objetivava compreender se havia um interesse duradouro pela Química, ou se essa escolha se deu por uma ausência em vislumbrar outras possibilidades; em outros termos, a questão se refere à motivação para a escolha do curso. As demais questões buscaram fazer um levantamento do contato com atividades experimentais que esses sujeitos tiveram antes do curso de graduação.

Ao longo das disciplinas foram feitas cópias das respostas dos alunos às questões elaboradas pelos professores e trabalhadas em sala de aula, assim como dos relatórios e provas, que constituem os dados processuais para a pesquisa.

3.2 Entrevistas

Com base no referencial de Bogdan e Biklen (1994) acerca de metodologias de pesquisas qualitativas, foi elaborado um roteiro para entrevistas semi-estruturadas com a finalidade de obter mais elementos para a triangulação dos dados. As entrevistas são úteis para recolher dados descritivos na linguagem do próprio sujeito, o que permite ao investigador delinear uma ideia geral sobre as interpretações de aspectos do mundo dos entrevistados (Bogdan & Biklen, 1994). As entrevistas semi-estruturadas, em particular, possibilitam a comparação entre os entrevistados (devido à existência de um guia para a entrevista, semelhante para todos os entrevistados), além de permitirem o esclarecimento de possíveis dúvidas sobre as respostas dos sujeitos no momento da entrevista (Bogdan & Biklen, 1994). Para a presente pesquisa, as entrevistas permitiram coletar material para investigar os objetivos e entendimentos dos professores sobre a disciplina de Química Geral.

O roteiro construído para entrevistar os professores das disciplinas de Química Geral teórica e experimental (Apêndice 4) objetivou investigar qual suas concepções de experimento de maneira geral e seus entendimentos sobre o papel da disciplina de Química Geral na formação do químico, buscando subsídios para compreender suas argumentações e opiniões observadas em sala de aula.

3.3 Sujeitos da Pesquisa

O pré-teste foi aplicado a estudantes do primeiro ano do curso de Química (período diurno) da Universidade de São Paulo (USP), *campus* Butantã. Cinquenta e oito alunos responderam ao questionário no segundo dia de aula; e quatro alunos responderam após o terceiro dia de aula, totalizando sessenta e dois questionários. Nesse dia também, todos os alunos e professores das disciplinas de Química Geral assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, concordando em participar

da pesquisa. Trinta e oito estudantes responderam ao questionário pós-teste no último dia de aula da disciplina de Química Geral I. Dois dos professores foram entrevistados no final do semestre letivo.

A pesquisa se desenvolveu no contexto do curso de Química em período integral do IQ-USP, que faz parte de uma carreira única para ingresso pelo vestibular FUVEST: Química – Bacharelado e Licenciatura. O curso possibilita ao aluno a obtenção do diploma de Bacharel em Química e/ou Licenciado em Química, com diversas ênfases. Dependendo da escolha do estudante, a carga horária pode variar de 4.080 horas para o curso de Licenciatura a 4.005 horas para o Bacharelado (a depender da ênfase escolhida) (Instituto de Química-USP, 2016).

3.4 Coleta de dados

Optou-se por coletar dados em duas disciplinas de Química Geral oferecidas no ano de 2014 para os alunos do primeiro semestre do referido curso de Química, com o objetivo de ter o registro dos primeiros contatos dos alunos com o conteúdo de química do curso. A disciplina de Química Geral I (QGI) é constituída por 3 aulas teóricas por semana e 1 aula de atividades em laboratório por semana (totalizando 240h por semestre), e todos os alunos têm aulas no mesmo horário. Assim, quatro professores são encarregados do oferecimento da disciplina, sendo um professor para as aulas teóricas e três para as aulas de laboratório. A disciplina de Fundamentos de Química Experimental (FundQExp), com carga horária total de 60h, foi ministrada por dois professores, sendo que esta disciplina foi intercalada com outra disciplina, de Física Experimental. Desse modo, os alunos de FundQExp foram divididos em duas turmas, com aulas a cada 15 dias.

Foram feitos registros em vídeo de 55 aulas no total (36 aulas de QGI teoria; 11 aulas de QGI experimental; 8 aulas de FundQExp). Um resumo dos conteúdos abordados em cada aula, bem como das atividades realizadas pela pesquisadora durante algumas das aulas, é apresentado no Apêndice 5.

Para a gravação em vídeo das aulas teóricas de QGI, foram utilizadas duas câmeras, uma delas fixa no fundo da sala, e outra móvel, junto à pesquisadora. A utilização de duas câmeras teve o objetivo de gravar todo o ambiente da aula, de maneira complementar. Para a gravação das aulas de laboratório, tanto de QGI experimental, quanto de FundQExp, foi utilizada, na maioria das vezes, apenas uma câmera móvel, junto à pesquisadora, focalizando somente as intervenções dos professores dirigidas a todos os alunos. Conversas entre alunos, ou entre professores e grupos de alunos, não puderam ser gravadas, por limitações técnicas. No entanto, isso não foi um problema para a pesquisa: o foco no professor permitia registrar as falas de um químico experiente dirigidas aos químicos iniciantes, possibilitando traçar influências posteriores sobre a fala e a escrita dos alunos nas entrevistas e atividades.

Apesar do presente trabalho não utilizar todos os dados coletados durante a pesquisa, a extensiva coleta de dados foi necessária para produzir um panorama abrangente daquilo que foi apresentado aos estudantes do primeiro semestre do curso de Química. Após a coleta, foi feita uma seleção dos dados para esta tese, a partir da análise das respostas ao questionário pré e pós teste (discutidas adiante, no Capítulo 4) – mais especificamente, foram analisadas as seguintes aulas e atividades: Experimentos 1, 2 e 4 de QGI – experimental; e aulas 11 e 12 de QGI-teoria (conforme a numeração utilizada no Apêndice 5); e as entrevistas feitas com os professores de QGI teoria e experimental. As demais aulas estão organizadas e

disponíveis em HDs externos arquivados no GHQ, podendo ser utilizadas em pesquisas futuras (alguns dados já foram utilizados, por exemplo, por Rozentaliski, 2015).

3.5 Procedimentos de análise dos dados

Os dados coletados foram objeto de uma análise de cunho qualitativo, conforme a abordagem de Bogdan e Biklen (1994): a partir da leitura dos dados, considerando o referencial teórico e as questões de investigação, originam-se determinadas categorias. A categorização tem o intuito de classificar os dados, codificando-os. Com essa codificação, surge uma organização do conjunto de dados (subcategorias), que pode descrever a forma como os sujeitos se expressam em uma dada situação ou em tópicos particulares.

Na discussão que se segue no próximo capítulo, a análise dos questionários e atividades, além das falas gravadas durante as atividades experimentais, não visa avaliar se os conhecimentos dos sujeitos da pesquisa estão corretos ou não conforme a perspectiva aceita atualmente pela ciência, mas caracterizar as formas de explicação utilizadas pelo professor e pelos alunos, a partir dos referenciais teóricos da Filosofia da Ciência, da Filosofia da Química e do Ensino de Química, expostos anteriormente nos capítulos 1 e 2.

CAPÍTULO 4. Resultados e discussão: as evidências não evidentes

Para a análise dos dados do presente estudo, pautamo-nos, especialmente, pela interpretação epistemológica de Nagel (1982) sobre os tipos de teorias, em diálogo com os conceitos de explicações de Hempel (1966), e em elementos da Filosofia da Química, a qual estuda especificamente a natureza da Química, seus conceitos, modelos e teorias, em termos epistemológicos e ontológicos, conforme apresentado no Capítulo 1¹². Com base nesses referenciais, podemos pontuar elementos para investigar os tipos de teorias e evidências utilizados para construção de explicações na Química em particular.

A partir das ideias de Nagel, podemos entender que as teorias fenomenológicas são aquelas que se restringem a descrever e correlacionar fenômenos, a fim de prever comportamentos. Esse tipo de teoria abarca proposições puramente empíricas. Na Química, pode-se classificar nesse tipo a lei dos gases ideais, a lei de Boyle, a lei de Lavoisier, a teoria termodinâmica, etc.¹³ Nesse caso, considera-se que as propriedades na Química são cor, massa, ponto de fusão, solubilidade, e assim por diante. No entanto, desde o início do uso e difusão da instrumentação na Química para separação e identificação de substâncias, os fenômenos observáveis no âmbito dessa ciência não são apenas aqueles que aparecem aos sentidos, mas também aqueles mediados por instrumentos como espectrômetros de infravermelho, ultravioleta, ressonância

¹² Para mais elementos sobre a Filosofia da Química, vide Lemes e Porto (2013a).

¹³ Os exemplos aqui citados foram classificados como teorias fenomenológicas considerando o momento em que foram propostas, pois sua interpretação contemporânea remete ao modelo de partículas, ou seja, a entidades teóricas construídas.

magnética nuclear, etc., que geram evidências não tão intuitivas, como gráficos de bandas, picos, entre outros. Essas evidências são consideradas como o nível de acesso direto estendido (Del Re, 2000 e 1998).

As teorias hipotéticas, por outro lado, ainda que possam ser sugeridas pelos fenômenos, não derivam deles de maneira lógica. Por esse motivo, muitas vezes são propostas hipóteses e teorias incompatíveis entre si para explicar um mesmo conjunto de fenômenos, cabendo aos cientistas decidir quais são mais adequadas (Nagel, 1982). As teorias hipotéticas abarcam proposições referentes a entidades teóricas e a processos inacessíveis à observação direta. Assim, as teorias hipotéticas se constituem de “mecanismos” de explicação objetivando previsões, mas, também, explicações. Na química, podem ser classificadas nesse tipo de teoria todas aquelas que utilizam, em suas proposições, construtos teóricos como átomos, ligações, moléculas, etc. Dessa maneira, percebe-se que as teorias hipotéticas são aquelas que demandam uma habilidade de manipular as entidades abstratas, ou ainda, certa crença (realismo científico¹⁴) a respeito das entidades teóricas que elas empregam. Essas considerações no âmbito da química servirão de base para as análises a seguir.

4.1 Análise inicial do questionário pré e pós-teste

Inicialmente, fizemos uma análise panorâmica dos questionários pré e pós-teste que teve como objetivo traçar parâmetros para definir o foco do trabalho. A análise foi feita de maneira geral, observando primeiramente as respostas em branco ou com declarações “não sei”, para posterior aprofundamento.

¹⁴ Para uma discussão do realismo científico entre os químicos, vide Lemes e Porto (2013b).

Das 1054 respostas que se poderia obter (17 questões e itens vezes 62 sujeitos), 15,2% (160 ocorrências) delas foram “não sei”, ou o espaço para resposta foi deixado em branco ou com um ponto de interrogação. Esse tipo de resposta foi encontrado, majoritariamente, na questão 6.1, a qual se referia à relação das evidências experimentais com as teorias (80 ocorrências, dentre as quais 28 são para o item 6.1b) e na questão 4, referindo-se a espectros de emissão (22 ocorrências).

No questionário pós-teste, respondido por 38 alunos, houve um total de 646 respostas, com somente 40 ocorrências de respostas em branco ou “não sei”, que correspondem a apenas 6,2% das respostas. A diferença entre as respostas do pré e pós-teste pode ser observada na figura 1.

Figura 1 – Quantidade de respostas em branco ou “não sei”, para cada questão do pré e pós-teste.

Analisando-se a figura acima, é possível perceber que as maiores diferenças estão nas questões 4 e 6. Para a questão 4, que no pré-teste reunia 35,5% das respostas em branco ou “não sei”, no pós-teste não foi observada a ocorrência

desse tipo de resposta. A questão 6.1 continuou com a maior ocorrência de respostas em branco, mas em menor número do que no pré-teste, o que já traz alguns indícios de mudanças nas respostas dos alunos.

4.2 Aprofundando a análise de dados dos questionários: questões 1b, 1d, 2 e 4

Após a análise inicial das respostas em branco, foi iniciado o aprofundamento qualitativo da análise, conforme a abordagem de Bogdan e Biklen (1994) e referenciais teóricos discutidos nos capítulos 1 e 2, para as respostas à questão 4, ao quarto fenômeno ilustrado na questão 2 e aos itens b e d da questão 1. Todos esses itens estão relacionados à teoria sobre a emissão de luz por elementos químicos. A questão 4 se refere à explicação sobre o espectro de linhas de três substâncias simples; o quarto item da questão 2 é referente ao teste de chama de três metais alcalinos; o item b da questão 1 se refere à queima de uma vela, e o item d da mesma questão se refere ao que ocorre com os fogos de artifício.

Essas questões foram selecionadas a partir da grande mudança evidenciada após a análise comparativa das respostas à questão 4 no pré e no pós-teste. Assim, a partir desta análise, direcionamos nossa atenção às respostas a questões com temáticas afins, para tentar entender se a dificuldade do aluno residia no tema ou no tipo de evidência apresentada.

A questão 4 permite investigar os tipos de explicação dadas pelos alunos a respeito dos espectros de linhas de três substâncias simples. Assim, no contexto da química pode-se defender a utilização de teorias fenomenológicas nas explicações. No caso do espectro de linhas, uma explicação desse tipo poderia ser: o espectro de linhas é uma representação da intensidade da luz absorvida ou emitida por uma amostra em diferentes comprimentos de onda, ou seja, é a representação da

evidência experimental da energia emitida ou absorvida por uma amostra, sendo que a natureza do material determina comprimentos de onda de absorção ou de emissão bem definidos. Por outro lado, uma explicação que utiliza teorias hipotéticas poderia ser: o espectro de linhas está relacionado às características elementares teóricas (quantidade e interação de elétrons e prótons) das amostras, ou seja, átomos absorvem energia (passam para estados excitados), sendo que a transição de um elétron de um estado quantizado para outro envolve a absorção de uma específica energia quantizada. O processo de emissão pode ser explicado analogamente. Percebe-se que, mesmo em se tratando de evidências mediadas, elas podem ser abordadas pelos dois tipos de explicações. No entanto, a análise do processo de ensino e aprendizagem que vamos fazer mais adiante revela dificuldades dos estudantes em entender as evidências mediadas.

As respostas dadas à questão 4 no pré-teste foram classificadas em 5 categorias: i) em branco; ii) explicação genérica, ou desconhecimento do fenômeno; iii) explicação hipotética; iv) explicação fenomenológica; v) explicação hipotética e fenomenológica.

Já no pós-teste, não foram encontradas respostas codificadas nas categorias “em branco”, “explicação genérica, ou desconhecimento do fenômeno”, e “explicação fenomenológica” (categorias i, ii e iv). Foram encontradas somente respostas classificadas nas categorias v) explicação hipotética e fenomenológica” (4 respostas) e, majoritariamente, iii) explicação hipotética (30 respostas).

Para ajudar a entender as dificuldades dos estudantes em lidar com as evidências mediadas, vejamos um exemplo histórico. Em artigo de Filgueiras (1996), que aborda aspectos da história da espectroscopia, há a descrição do experimento realizado por William Herschel (1738-1822), em 1800. Herschel

colocou um termômetro em cada uma das regiões da luz solar decomposta por um prisma (espectro solar), observando o aumento da temperatura de forma mais intensa à medida que se aproximava da cor vermelha. Ao colocar um termômetro na região não iluminada ao lado da extremidade vermelha do espectro, Herschel observou que a temperatura aumentava ainda mais rapidamente naquela região, a qual foi denominada posteriormente de infravermelho.

Atualmente, na linguagem moderna, o infravermelho é conceituado como “uma radiação de baixa energia, e esta coincide com a faixa de energia necessária para fazer vibrar — isto é, movimentar uns em relação aos outros — os átomos de uma substância sem provocar uma reação” (Filgueiras, 1996, p. 22). Percebe-se que a primeira definição de infravermelho é baseada em evidências não mediadas (ou mediadas por um instrumento muito simples, que é o termômetro, o qual quantifica uma evidência sensível: o calor), enquanto, na linguagem moderna, está mais relacionada com os modelos teóricos. Não seria apropriado correlacionar as respostas dos alunos com o desenvolvimento histórico dos conceitos, pois atualmente a teoria atômica está bastante difundida na ciência escolar do ensino médio, enquanto a construção histórica do consenso em torno dela foi lenta e cheia de percalços. No entanto, pode-se relacionar as respostas dos estudantes com a complexidade dos conceitos científicos atuais, levando-se em consideração que os alunos precisam internalizar três aspectos dos conteúdos que não são colocados como prioritários para discussão em sala de aula: entender as evidências (saber o que olhar, e como interpretar o que foi observado), entender as teorias e entender como as teorias estão relacionadas às evidências. O cientista está maduro e tem um aporte teórico de muito tempo, enquanto o aluno não.

Analisando as respostas ao item b da questão 1, sobre a queima de uma

vela, no pré-teste houve somente uma resposta deixada em branco, e no pós-teste não houve respostas em branco. As respostas dadas a esse item foram classificadas em i) reconhecimento do fenômeno via nome ("combustão" ou "queima"); ii) reconhecimento do fenômeno via nome + explicação fenomenológica; iii) reconhecimento do fenômeno via nome + explicação hipotética; iv) reconhecimento do fenômeno via nome + explicação hipotética e fenomenológica; e v) em branco. Mesmo sendo um fenômeno que está muito próximo à experiência cotidiana dos estudantes, e mesmo tendo uma aula experimental dedicada apenas ao estudo da vela, como vamos analisar na seção 4.3, somente um aluno utilizou uma explicação mais complexa (e somente no pós-teste), recorrendo tanto a teorias fenomenológicas como a teorias hipotéticas (categoria iv). As respostas desse aluno a esse item, no pré e no pós-teste, são apresentadas a seguir:

Resposta ao pré-teste:

AQG38: O calor faz a parafina liquefazer e evaporar a parafina sobe por capilaridade e há a combustão desse gás.

Resposta ao pós-teste:

AQG38: reação incompleta de oxirredução da parafina e do pavio com fusão e evaporação da parafina. A luz se deve à excitação dos elétrons.

O que se observa na análise do item d da mesma questão é que, mesmo havendo uma relação de caráter teórico entre a chama da vela e os fogos de artifício, e de se tratar do mesmo tipo de evidência (não mediada), os alunos não explicitaram um conhecimento mais complexo sobre o fenômeno da vela (exceto o aluno AQG38, citado acima), como fizeram ao tratar dos fogos de artifício. Talvez haja insegurança em falar de excitação de elétrons para moléculas mais complexas como as orgânicas, e ainda mais na ausência de átomos metálicos, como no caso da parafina da vela. Tanto no fenômeno da questão 4 (espectros de emissão), no item d da questão 1 (fogos de artifício), quanto no quarto fenômeno da questão 2

(testes de chama), para os quais os estudantes forneceram explicações hipotéticas em termos de excitação de elétrons, estavam envolvidas substâncias inorgânicas com átomos de metais.

A análise das respostas ao item d da questão 1 mostra que não houve respostas deixadas em branco no pré nem no pós-teste. Pode-se considerar que os fogos de artifício constituem a própria evidência experimental direta da emissão de luz (fenômeno), enquanto os espectros de linhas da questão 4 constituiriam uma representação da evidência experimental da energia emitida ou absorvida por uma amostra, ou seja, uma evidência mediada do mesmo fenômeno da questão 1d. Uma explicação utilizando as teorias fenomenológicas para os fogos de artifício poderia ser: materiais podem emitir luz de diferentes cores quando submetidos a um aumento de energia (fornecida pela queima da pólvora, neste caso). A explicação utilizando teorias hipotéticas seria muito parecida com a do espectro de linhas, levando em consideração as transições eletrônicas.

As respostas dadas ao item d da questão 1 no pré e pós-teste foram classificadas em 4 categorias: i) reconhecimento do fenômeno via nome; ii) reconhecimento do fenômeno via nome + explicação fenomenológica; iii) reconhecimento do fenômeno via nome + explicação hipotética; iv) reconhecimento do fenômeno via nome + explicação hipotética e fenomenológica.

Apesar de todos os alunos responderem ao item d da questão 1, houve mudanças significativas no que foi respondido, ao se comparar as respostas ao pré e pós-teste (Figura 2). Observa-se que a maioria das respostas dadas ao pré-teste se enquadraram na categoria iii) reconhecimento do fenômeno via nome + explicação hipotética (51,6%). Já no pós-teste, 77,1% das respostas se enquadraram na

categoria iv) reconhecimento do fenômeno via nome + explicação hipotética e fenomenológica, o que significa maior complexidade na explicação.

No pré-teste, alguns alunos se apegaram à classificação do fenômeno apenas pelo seu nome (rótulo), tais como: "explosão", "queima", "combustão", "oxidação". Essa rotulagem não foi classificada como fenomenológica ou hipotética, pois somente é uma identificação simbólica de senso comum e por isso criamos uma categoria (i) para reunir as respostas que traziam apenas o nome do fenômeno, sem incluir elementos de nenhum dos dois tipos de teorias. Como se pode observar na Figura 2, no pré-teste, 19,3% das respostas estavam enquadradas nessa categoria, e no pós-teste não houve nenhuma ocorrência desse tipo de resposta.

Figura 2 – Quantidade de respostas para o item d da questão 1 dos questionários pré e pós-teste, em porcentagem, distribuídas nas 4 categorias de análise.

Quantidade significativa de respostas dos alunos mudou das categorias referentes a explicações com teorias mais intuitivas (categorias i e ii) para as mais complexas (categorias iii e iv), mostrando indícios de que pode ter sido incorporada a preferência pelo uso de teorias hipotéticas para a explicação de um fenômeno.

Apresentamos, a seguir, exemplos de respostas ao pré e pós-teste para dois alunos em que houve mudança para explicações mais elaboradas:

Resposta ao pré-teste:

AQG24: explosão da pólvora junto com outras substâncias cuja função é proporcionar cores diferentes. (categoria ii)

Resposta ao pós-teste:

AQG24: Liberação de luz de diferentes cores devido ao retorno de elétrons excitados a suas camadas originais. (categoria iv)

Resposta ao pré-teste:

AQG14: combustão. (categoria i)

Resposta ao pós-teste:

AQG14: Liberação de energia luminosa pelos elétrons excitados de diferentes elementos. (categoria iv)

Foi observado também que alguns alunos, cujas respostas ao pré-teste já haviam sido classificadas na categoria (iv), que consideramos a de maior complexidade, tiveram suas respostas ao pós-teste classificadas na mesma categoria, e ainda se tornaram mais ricas em detalhes, como mostrado nos exemplos a seguir:

Resposta ao pré-teste:

AQG36: uma reação onde átomos recebem energia e emanam luz.

Resposta ao pós-teste:

AQG36: ocorre a excitação de elétrons de elementos nos fogos de artifício, que, quando voltam para seu nível de energia, liberam luz.

Resposta ao pré-teste:

AQG8: Incandescência de átomos do grupo A.

Resposta ao pós-teste:

AQG8: Emissão de luz por excitação e relaxamento de elétrons.

Na análise das respostas ao quarto fenômeno da questão 2, queima de compostos de sódio, estrôncio e boro (testes de chama), no pré-teste, dois alunos relacionaram suas respostas com o item d da questão 1 (fogos de artifício); e três alunos fizeram menção a teste de chama. Porém, outros sete estudantes deixaram a resposta em branco no pré-teste. No pós-teste, nenhum estudante deixou a resposta em branco, talvez por efeito do Experimento 5 (Espectros atômicos) da

disciplina QGI, que incluía a realização de testes de chama. Comparando as respostas do pré-teste com o pós-teste houve uma sofisticação muito grande nas explicações. No pré-teste, as respostas estavam distribuídas nas categorias i) explicação fenomenológica (23% das respostas); ii) explicação hipotética (10%); iii) explicação fenomenológica e hipotética (56%); e iv) em branco (11%). No pós-teste, as respostas foram majoritariamente (84%) na categoria iii) explicação fenomenológica e hipotética.

Assim, comparando-se as respostas obtidas nas questões 1b, 1d, quarto item da questão 2, e questão 4, observa-se que as evidências (chama de vela, fogos de artifício, testes de chama e espectro de linhas), ainda que possam ser relacionadas ao mesmo tipo de explicação, para o aluno iniciante essa relação não fica muito clara. Enquanto na questão 1d todos os estudantes reconheceram a evidência (de natureza direta, os fogos de artifício), na questão 4 o reconhecimento da evidência (de natureza mediada, o espectro de linhas) para muitos alunos foi construído após um semestre do curso de Química. Isso constitui um indício de que a evidência mediada não é incorporada e compreendida da mesma forma que a evidência direta. As reflexões suscitadas pelas respostas a essas questões permitiram delinear critérios para seleção e análise de três aulas experimentais e duas teóricas – as quais objetivavam, explicitamente, que os alunos entendessem o que são evidências e praticassem a construção e teste de hipóteses.

4.3 Análise das primeiras aulas experimentais com evidências não mediadas

A disciplina de Fundamentos de Química Experimental da instituição investigada apresenta características peculiares. Diferente da maioria dos cursos de Química, que focalizam a formação do iniciante nos aparatos e processos, essa

disciplina se propôs a discutir, nos dois primeiros experimentos, o que é investigar um fenômeno, na tentativa de construção de um espírito químico. Aparentemente, tratou-se de um treinamento da observação de evidências mais intuitivas, no qual se objetivou treinar o olhar ao que se observa, segundo teorias tácitas. Isso pode ser observado na fala inicial do Professor QGI-experimental (Professor E) na aula experimental 1 sobre a observação de uma vela:

Professor E: (...) o que nós vamos fazer hoje é ((início da leitura do roteiro para os alunos)) investigar um fenômeno cotidiano... procurando estabelecer relações de causa e efeito... olhar... ver o que está acontecendo... e tentar entender por que é que acontece de um jeito e não de outro... exercitar observação e a prática de anotações organizadas... a partir de hoje vocês vão anotar tudo que vocês observaram... o ser humano sente necessidade de compreender o mundo que o cerca e busca fazê-lo por meio de suas capacidades... percepção... imaginação... raciocínio... etc... para os cientistas... a produção do conhecimento baseia-se no método científico... que se inicia com a observação sistemática de fatos... seguido da realização de experiências... de deduções lógicas e da comprovação dos resultados e ou teses elaboradas... assim... um cientista observa alguma coisa... formula perguntas pertinentes e então tenta respondê-las ((fim da leitura da introdução do roteiro entregue para os alunos))... a diferença de um cientista de uma pessoa comum... vocês vão ser cientistas... mesmo se seguir carreira na indústria... mesmo que se formou... trabalha no banco... nunca mais vai olhar para um tubo de ensaio na vida... vocês vão ser treinados para ser cientistas... pra observar... tentar interpretar o processo que você está observando... saber relatar e propor hipóteses... pra isso... essa é a diferença de um cientista que tem treinamento e uma pessoa comum... eu por exemplo... ao contrário que acontece no Brasil em modo geral... (...) o que sempre me fascinou em ser químico... é poder olhar pra essa torneira aqui ((ele se aproximou da bancada apontando para a torneira na frente dos alunos)) ... e falar que ela é amarela e você sabe por que que ela é amarela... e por que ela tem esse aspecto aqui... por que esse aspecto metálico... se perguntar quais são os elementos químicos que tem aqui... eu vou citar noventa ou noventa e cinco por cento e vou acertar todos... isso me torna diferente da maioria das pessoas que não tem o treinamento que eu tenho... não que meu treinamento seja o mais importante... eu acho química a coisa mais maravilhosa do mundo... não é à toa que tô aqui... mas têm pessoas que acham outras coisas... se eu não gostasse de química seria muito difícil... mas eu quero que vocês façam... com paixão... gostar do que tá fazendo....(...)

Apesar de estar na vanguarda, parece que o curso analisado nesta tese não possibilita momentos para discutir o quão complexa é a observação, principalmente a observação de evidências mediadas, que ocorre sem a discussão de sua

construção e natureza. No momento observado, o Professor E aparenta estar interessado somente em ensinar que a observação visa identificar causa e efeito.

Quando o professor segue com a análise do fenômeno da queima de uma vela, ele até salienta que, à medida que acumulam experiência, os químicos tendem a escolher outros tipos de testes, que geram outros tipos de teorias.

Professor E: (...) material do qual ela é feita... e agora eu posso falar em parafina... com a seguinte ressalva... nada do que vocês observaram com os olhos... pode provar pra vocês que o material do qual a vela é feita se chama parafina... tá... vocês concordam comigo?

Alunos: sim

Professor E: o que vocês precisariam fazer para identificar esse material?

AQG14: testar a parafina antes

Professor E: vocês poderiam... é uma boa alternativa... eu como já sou formado de longa data... eu tô pensando assim ó... eu vou lá no espectrômetro... a ideia dela é muito melhor que a minha... é o que? pegar o material que você sabe que é parafina e comparar com a vela... muito melhor do que gastar milhões de dólares para chegar lá e falar... é parafina... então vamos supor que vocês fizeram isso e vocês sabem que é parafina... tá...então vamos dizer é parafina... a vela é feita de parafina...

No trecho acima evidencia-se que o professor e o aluno têm perspectivas axiológicas (importância, utilidade, reconhecimento) diferentes na escolha de em qual evidência basear a construção da explicação científica. Na fala transcrita acima, o professor deixa claro que, apesar de a comparação de propriedades para identificar uma substância seja válida, sua primeira escolha para identificar uma substância seria mediada pela utilização de um instrumento mais sofisticado. A comparação de propriedades foi entendida aqui como baseada em evidências não mediadas, mais diretas, e a utilização de instrumentos está relacionada a evidências mediadas.

Afirmar que a substância desconhecida é parafina, chegando a essa conclusão por meio de equipamentos analíticos, tem maior valoração do que a mesma constatação obtida pela comparação da substância desconhecida com uma amostra do material já conhecida (a identidade de um conjunto de certas

propriedades macroscópicas da substância desconhecida com as de uma substância conhecida permite afirmar a identidade entre as duas substâncias). O valor está em atribuir estatuto de maior importância ao instrumento, mas o porquê desse valor está em nível epistemológico e ontológico. A proposta da aluna repousa unicamente no nível macroscópico, enquanto a proposta do professor de utilizar um equipamento se baseia no nível submicroscópico. Na Química, a transição da abordagem “clássica” para a instrumental constituiu o que alguns autores consideram uma revolução na Química Analítica. Schummer (2002) argumenta que o impacto da instrumentação na Química repercutiu em nível ontológico. Isso quer dizer que o advento dos resultados instrumentais influenciou no entendimento do que é a estrutura molecular, que passou a ser propriedade de uma substância química. Porém, o estabelecimento da ontologia de substâncias e suas propriedades macroscópicas se deu, historicamente, em momento anterior ao estabelecimento da ontologia das entidades submicroscópicas que forneceram as bases para a construção dos instrumentos e suas evidências mediadas.

Percebe-se, então, uma tensão subjacente, entre a Química das substâncias e a Química das moléculas (ou, mais precisamente, das entidades submicroscópicas) no processo de ensino-aprendizagem na disciplina de Química Geral. Caracterizamos como subjacente porque os professores não chegam a se questionar a esse respeito, e por que isso seria um problema. Foram obtidos indícios que apontam nessa direção nas entrevistas com o Professor E e com o professor de QGI-teoria (Professor T). Ao ser perguntado sobre qual a relação entre a QGI-teoria e QGI-experimental, o Professor E respondeu:

Professor E: (...) o aluno vê a teoria e depois ele vai comprovar a teoria no laboratório/ isso... isso pra mim é um erro... laboratório não serve para comprovar teoria... em uma certa medida isso pode acontecer... eventualmente ele vê na sala de aula... a gente explica reações... que...

liberam calor... reações que liberam gases aí ele vai... de fato... ver aquilo (...)

Já o Professor de QGI-teoria (Professor T), quando indagado sobre o que a disciplina de Química Geral tem a oferecer de importante para a formação do químico ele respondeu:

Professor T: se você ficar atento ela ((a disciplina de Química Geral)) é já uma base para a toda espectroscopia... certo? eletrônica... vibracional... magnetismo... hoje em dia o químico ... ele tá muito voltado a técnicas instrumentais... não estou falando que só... técnica instrumental... mas se você for pensar... se você vê a atuação do químico... hoje ele trabalha muito com espectrometria de massas... então hoje em dia o que você tem... você tem uma técnica... espectrometria de massas como uma técnica de caracterização importantíssima... não é? daí você tem espectroscopia de absorção e emissão atômica... que já foi a técnica principal... uma das técnicas principais... então eu vejo isso né? eu vejo que a gente obviamente aborda aspectos teóricos mas já sinaliza que são os fundamentos pra técnicas que eles vão usar... e mesmo que como profissional ele for atuar na área de síntese... por exemplo... ele vai ter que caracterizar os compostos... e pra isso ele vai ter que usar uma técnica... espectroscópica ou espectrométrica... então eu diria que essa disciplina tem tudo... né? ou quase tudo de fundamento... pra atuação profissional dele...

Quando perguntado sobre qual o objetivo, especificamente, da QGI-experimental, o Professor T respondeu:

Professor T: (...) então o objetivo do laboratório qual é? em aproximadamente cinquenta por cento dos experimentos... o pessoal... vê esses tópicos das transformações... não é? é tentar mostrar algumas coisas que em princípio podem parecer muito abstratas... por exemplo emissão atômica né? uma coisa é você falar... da emissão atômica que fica no espectro de linhas... outra coisa é você ver um espectro de linhas não é? isso dá também por exemplo em interações intermoleculares... então você falar um sólido iônico tem um ponto de fusão oitocentos graus por exemplo... você fala um sólido molecular necessariamente tem um ponto de fusão e ebulição mais baixo... e na verdade o aluno vai e faz isso... então é interessante porque pra gente que é químico... isso é uma coisa corriqueira muito trivial... às vezes você vê o aluno como que ele fica espantado né? por que ele aquece aquece aquece aquece... ele tem a ideia de que o bico de bunsen realmente é muito quente mas mesmo assim ele não consegue por exemplo fundir cloreto de sódio... mas naftalina por exemplo ou mesmo o açúcar ele vê que não só... primeiro você funde e depois você até decompõe... né? e você vê... por exemplo uma coisa que é aparentemente é... ridícula pra gente... você queimar açúcar né? daí você entra com outros conceitos... ou seja... você tem a propriedade física que você depende da temperatura... mas você também tem um processo químico que depende da temperatura... então... pra mostrar que química realmente é uma coisa complexa né? por isso que eu falo você tem que ter orgulho de ser químico né? porque realmente o grau de complexidade envolvido é muito grande...

Comparando-se a fala do Professor E com as do Professor T, evidencia-se a tensão entre a Química macroscópica/das substâncias/clássica e a Química submicroscópica/das moléculas/pós-revolução analítica. Ambos entendem que os estudantes têm que aumentar seu repertório de evidências experimentais, mas, na fala do Professor T, parece não existir diferença entre evidências mediadas e não mediadas, mas apenas a diferença entre evidências mais cotidianas ou menos cotidianas.

Apesar de o Professor T reconhecer que a Química é muito complexa, em seu discurso ele não parece expressar a ideia de que existem evidências mais complexas de se entender. Ele parece identificar o abstrato como o não comum, mas o entendimento de evidências experimentais vai além do comum e não comum. Ver uma evidência experimental e relacioná-la com uma teoria para formar uma explicação é um processo muito complexo. Fica ainda mais complexo quando, antes disso, é necessário entender que essa evidência experimental é mediada por um instrumento que requer um entendimento relacional a respeito do funcionamento do equipamento, das teorias envolvidas e do índice que o instrumento produz. Somente “ver”, como aponta o Professor T, não é suficiente para fazer o aluno compreender toda a complexidade que está por trás do fenômeno mediado.

É preciso considerar que, para o não iniciado em Química, as evidências diretas de transformações químicas, isto é, as evidências não mediadas (produção de gás, liberação de calor, mudança de cor, etc.) referentes à Química das substâncias, não têm relação intuitiva com o comportamento submicroscópico das substâncias envolvidas (Química das moléculas). Assim, a dificuldade para o aprendiz entender a Química se instaura, pois as explicações preferidas pelo químico profissional para essas evidências não mediadas sempre são baseadas no

comportamento de entidades submicroscópicas. A inserção de evidências mediadas no ensino experimental de Química Geral acaba por se constituir em complicação adicional, dada a dificuldade em relacioná-las às entidades teóricas.

O experimento 2 de QGI, a investigação sobre a “garrafa azul”, teve seus objetivos expressos da seguinte forma no roteiro experimental entregue aos alunos: “investigar um fenômeno desconhecido, procurando estabelecer relações de causa e efeito; e exercitar a observação e a prática de anotações organizadas”. O experimento consistiu em agitar uma solução incolor (cuja composição era inicialmente desconhecida pelos alunos), contida em um erlenmeyer devidamente vedado com uma rolha, observando-se então a mudança do aspecto da solução: de incolor para azul. Deixando-se em seguida o erlenmeyer em repouso, após alguns segundos a solução retornava a seu aspecto incolor inicial. Esse procedimento podia ser repetido quantas vezes os alunos desejassem. Nessa etapa, os alunos levantaram hipóteses a respeito do que estaria acontecendo na solução, e de quais substâncias estariam reagindo. Após a discussão, os alunos testaram algumas das hipóteses levantadas pela turma.

Neste experimento, o Professor E começa a discutir o que são evidências do fenômeno observado no experimento e, de novo, seu interesse é semelhante ao revelado na fala anterior, em que sugeria o uso de um espectrofotômetro para identificar a parafina. O Professor E não está discutindo qual é a evidência, mas como podemos corroborar a evidência visual com uma evidência mediada, conforme mostra a fala transcrita a seguir:

Professor E: (...) não era pra ter então o que que é? poeira... alguma coisa na água... o líquido que foi usado pra fazer a solução dessa garrafa... tá... quando chacoalha? o que acontece? (...) mudança de cor... todo mundo concorda que é pra azul? não temos daltônicos no recinto... no grupo aqui... e essa cor azul... como é que vocês definiriam essa cor? por que azul pode ser azul celeste... azul royal... azul marinho... azulão... berline... ai cada um vai descrever da forma... se

é arroxado... turquesa... no experimento científico... extremamente rigoroso... como é que vocês fariam pra descrever esse azul? vocês tem acesso a... sei lá... ao laboratório do MIT... pra fazer todos os experimentos que vocês quiserem...

Professor E: (...) tem equipamento que faz isso de uma maneira mais simples ainda... tem um equipamento que pode fazer um espectro de absorção... espectrofotometria... você colocaria essa solução... passaria luz visível por exemplo... a gente vê que qual que é a máxima absorção... aí você pode dizer qual o comprimento de onda emitido... é mais complexo do que azul... azulão... azul pra celeste... que não é marinho... tá certo? e essa cor? essa cor permanece? pelo que vocês viram é reversível... ele volta a ficar exatamente como estava antes...

Nessa discussão, o professor citou a evidência mediada (espectro de absorção), mas sem problematizar sua natureza ou seus objetivos. Nesse experimento, as cores são bem contrastantes (incolor e azul), e não seria necessário um dispositivo instrumental que mostrasse exatamente qual é a cor, ou quantificasse a absorção daquela cor – o que talvez fosse necessário se estivesse analisando uma mudança de cor entre tons de azul, por exemplo. Assim, a seleção do que é uma evidência, e o processo de construção dessa evidência, depende do fenômeno e do objetivo do observador. Tudo isso pode estar implícito para o professor, mas não foi explicitado para os alunos. Além disso, o docente enfatiza que, para descrever de forma rigorosa, é necessário se basear na evidência mediada; porém, no experimento em questão, não havia essa necessidade, por se tratar de cores facilmente distinguíveis visualmente. Outros pontos que não ficam explícitos podem ser observados no trecho a seguir:

Professor E: alguns casos a rolha já estava azul antes de chacoalhar... em outros casos certeza absoluta que não estava azul? isso... isso é interessante notar... assim... alguns estavam azul... outros não... isso pode... ajudar ou atrapalhar... a hipótese que vamos formular... mais alguma? então eu vou falar... tem uma observação aqui... que é esperada... que qualquer químico faz... não é esperado de vocês... tá... vocês ainda não tão com o treinamento formal pra isso... né? mas vai ser o primeiro... por exemplo| o que eu faria? eu chacoalharia... vi que mudou de cor... a primeira coisa que eu ia tentar era ver se esquentou... se esfriou... ninguém falou e isso é extremamente importante... ((alunos começaram a chacoalhar)) tá... por que nós sabemos... e vocês sabem do ensino médio... que um dos indícios de ocorrência de reação química... um POSSÍVEL indício... de ocorrência de reação química é a liberação ou absorção de calor... embora... liberação ou absorção de

calor não sejam... evidências conclusivas... em torno da reação química... tá... basta tentar dissolver nitrato de amônio em água... por exemplo... que não é uma reação química... é uma dissolução... esfria... um outro processo...

Nesse trecho, o professor salienta que o químico que tem o seu treinamento completo terá um diferencial para visualizar os fenômenos, considerando outras evidências que os alunos iniciantes não relataram. Seguindo na fala, podemos também observar que, novamente, parecem existir evidências de naturezas distintas, quando o professor salienta que existem tipos de evidências, e que a alteração da temperatura não é uma evidência que ele adjetivou como “conclusiva”. Uma vez mais, não se problematizou qual a diferença entre os tipos de evidências: só se discutiu quais evidências relevantes existem acerca do fenômeno, para se saber o que está acontecendo. Esse tipo de abordagem prossegue na aula inteira, na qual o objetivo é saber o que está ocorrendo e não a problematização e o aprendizado do que são evidências e sua relação com as teorias. A problematização envolveria a ideia de que tanto na construção do experimento, quanto na observação e interpretação, é necessário um treinamento técnico e, principalmente, teórico.

4.4 Análise do Experimento 4 de QGI: primeiro experimento com evidência mediada

A partir da distinção entre explicações utilizando teorias hipotéticas e fenomenológicas, entendemos que a sentença "*a substância foi dissolvida em água a uma certa temperatura*" utiliza termos que se referem a entidades perceptíveis diretamente (substância; água; o nome “dissolução” para o fenômeno observado) para construir **uma descrição teórica** do que está ocorrendo. Esta sentença

remete, majoritariamente, a uma **teoria fenomenológica**, pois, quando se observa que “um sólido branco, adicionado a um líquido transparente, desaparece” (o que seria uma descrição de senso comum), se entende, na cultura química, que um sólido foi “dissolvido” na água. No entanto, a sentença “*quando uma substância iônica é colocada em contato com a água, os íons de sua estrutura se dissociam, por meio de interações com as partículas que constituem o solvente, ocorrendo a dissolução*” remete, majoritariamente, a **teorias hipotéticas**, que utilizam **entidades teóricas construídas** ou **construtos teóricos** (neste caso, átomo, ligação iônica, interações interpartículas, e assim por diante). São considerados construtos teóricos também os *atributos* relacionados às entidades teóricas, como, por exemplo, o raio atômico, que é propriedade do átomo; ou a absorção e emissão de radiação por átomos ou moléculas, como no caso que vamos analisar aqui.

Diante do exposto, foi escolhida para análise a atividade experimental sobre absorção e emissão de luz (experimento 4 de QGI) e, mais especificamente, o procedimento feito sobre a absorção de luz utilizando soluções coloridas, cujo objetivo era investigar o comportamento de soluções de níquel (II) de diferentes concentrações (Figura 3).

Absorção de luz utilizando soluções coloridas

Efeito da concentração.

Separe quatro tubos de ensaio idênticos limpos e secos. Com um lápis rotule cada tubo na marca branca, respectivamente como A, B, C e D. Utilize duas provetas de 10 mL para medir as quantidades indicadas na Tabela abaixo, sendo uma para a solução contendo íons $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$ e outra para a água. *Tome cuidado ao manipular a solução estoque de $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$ pois esta solução é mantida em meio de ácido sulfúrico (0,2M). Em caso de contato com a pele, lavar a região atingida com água.* Após adicionar as quantidades indicadas agite os tubos B, C e D para homogeneizar as soluções.

Tubo	Solução $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$ (1,2M)	H ₂ O
A	8 mL	---
B	4 mL	4 mL
C	2 mL	6 mL
D	1 mL	7 mL

a) Observe cada uma destas soluções olhando o tubo no sentido transversal e longitudinal (utilize uma folha de papel branco como fundo). Compare as soluções na sequência A, B, C e D.

b) Registre os espectros de absorção das soluções C e D.

Cores e tonalidades

Utilizando o sistema de luz branca e prisma coloque entre o prisma e o anteparo uma cubeta que contém solução 1,2 M de NiSO_4 . Observe as cores que são absorvidas e transmitidas.

Repita o teste com os filtros verde e ciano (peacock blue). Compare as diferenças entre estes três tipos de "verde".

Figura 3: Protocolo experimental sobre absorção e emissão de luz, utilizado pelos alunos na atividade integrante do Experimento 4 do laboratório de QGI.

A delimitação das respostas a algumas das questões propostas no relatório (Quadro 1) sobre esse procedimento experimental foi motivada pela expectativa de resposta do professor, cuja explicação se baseava em dois tipos de evidência experimental: o gráfico de absorção (observação direta estendida, ou seja, evidência mediada) e a observação direta (não mediada) da solução de níquel (II) em um tubo de ensaio, na longitudinal e transversal. A escolha dessa questão se mostrou frutífera para a análise que propomos a seguir.

Quadro 1 – Questões do relatório sobre a atividade experimental de absorção de luz utilizando soluções coloridas

- 4- a) Explique porque a solução de íons Ni^{2+} (aq) é verde.
- b) Com base nos experimentos da diluição da solução contendo íons Ni^{2+} (aq) nos tubos de ensaio, houve mudança de coloração (intensidade) ou no comprimento de onda de absorção? O que ocorre quando se observa as soluções no sentido transversal e longitudinal? Justifique.

4.4.1 O distanciamento entre as explicações dos alunos e do professor

A diferença maior entre as respostas dos alunos e a do professor reside na preferência pelo tipo de teoria escolhida para sustentar a explicação para o efeito da concentração sobre a absorção de luz em soluções de níquel (II). Os alunos, de maneira geral, utilizam mais teorias fenomenológicas em suas explicações. O professor, tanto na aula 11 de QGI, na qual fez a introdução aos conceitos que seriam abordados no experimento, quanto no texto apresentado como expectativa das respostas dos alunos (gabarito da atividade pós-laboratório), manifestou explicações baseadas em teorias hipotéticas.

4.4.1.1 A explicação sobre o fenômeno da cor

Na aula em que o professor explorou os conceitos que seriam abordados no experimento sobre absorção e emissão de luz, ele partiu de descrições dos fenômenos não mediados, e sempre concluía seu discurso apontando as causas desses fenômenos, como neste trecho transcrito da aula:

Professor T: (...) quem origina esse fenômeno de cores... não são as substâncias das moléculas?... não é isso? então, por exemplo, você tem emissão de luz, provavelmente é um átomo em uma incandescência que está fazendo isso... não é? Se você tem absorção... o que que absorve? uma molécula... isso o que que é? interação... é energia radiante... matéria... ou se não... produção de energia radiante pela matéria... tá certo? ok? e cor é importante? demais né? certo... por que através de variações de cor ou pela cor você identifica compostos... você quantifica compostos... e assim por diante... (...) (grifos nossos)

A fala acima exemplifica como o professor expõe o que ele entende sobre o que causa o fenômeno da cor. Os trechos sublinhados apresentam, além de questões ontológicas que fogem ao escopo do presente trabalho, o modo como o professor explica o fenômeno na aula para os alunos. A resposta do professor (gabarito) para a questão “Explique porque a solução de íons Ni^{2+} (aq) é verde” é a seguinte:

Uma solução de Ni^{2+} apresenta a cor verde sendo que a cor observada é devida ao processo de absorção de luz e não a um processo de emissão. Portanto, a cor verde é devida à absorção de fótons na região vermelha do espectro visível (cor complementar, vide Disco de Newton) que originam a excitação dos elétrons do estado fundamental da espécie Ni^{2+} (aq) para níveis de maior energia.

Pode ser observado claramente no espectro de absorção da solução de Ni^{2+} (aq) uma banda de absorção na região de 600 – 850 nm que abrange a região do vermelho do espectro eletromagnético.

Obs: Os alunos registraram o espectro de absorção da solução de Ni^{2+} (aq), logo, eles têm condições de justificar a cor observada pelo espectro de absorção.

Adicionalmente, também existe uma outra banda de absorção na região do violeta, que pelo diagrama de Newton corresponde à cor verde-amarelado, logo, para a questão obter pontuação completa, eles devem mencionar as duas regiões de absorção. (grifos nossos)

Os trechos sublinhados mostram, além da preferência por teorias hipotéticas para a explicação do fenômeno da cor, também a utilização da evidência mediada (o espectro de absorção). O professor também explicita que os alunos precisam utilizar esse tipo de evidência para elaborar suas respostas.

No entanto, a maioria dos alunos permeou suas explicações com teorias fenomenológicas, como nos exemplos a seguir:

AQG39: tomando a teoria da absorção de cores ((sistema Red-Green-Blue, *RGB*)), a luz branca incidente, formada pelas cores primárias (vermelho, verde e azul), é absorvida pela solução de íons Ni^{2+} (aq), esverdeada, e algumas cores são “aniquiladas” no processo de reflexão das cores. Em termos mais claros, sendo o verde a cor da solução um tom primário no sistema RGB, é refletido aos nossos olhos como semelhante cor enquanto as demais cores, vermelho e azul, são absorvidas pela solução.

AQG43: A solução de Ni^{2+} (aq) é verde pois ela absorve todas as cores, menos a verde, que então é refletida e assim a enxergamos.

AQG29: A solução de íons Ni^{2+} (aq) é verde porque ela absorve muito pouco a radiação da luz verde (aproximadamente 490-530 nm). A solução também absorve um pouco a radiação da luz vermelha (630-720 nm) e, segundo o disco de Newton, o material que absorve luz vermelha é visto (reflete) luz verde. (grifos nossos)

Nos exemplos acima, percebe-se que os alunos explicaram a cor da solução sem recorrer a aspectos da estrutura da matéria, como as interações entre elétrons e fótons. O entendimento dos alunos sobre o que é uma explicação é diferente do entendimento do professor. A maioria dos alunos não sente a necessidade de explicar a maneira como os íons absorvem a radiação para termos a cor verde. Ou seja, explicam a cor da substância (macroscópica), sem recorrer aos íons (submicroscópicos) que a constituem. Além disso, poucos utilizam a evidência experimental mediada (o espectro de absorção), o que pode ser um indício de sua não aceitação ou entendimento como uma evidência experimental pelos alunos. O Aluno AQG46 é um exemplo dos 8 alunos (do total de 58 que responderam a esta questão) que utilizaram o espectro de absorção fornecido como base para a sua explicação, feita em termos descritivos:

AQG46: Como o pico de absorbância se dá em 394 nm e os outros dois picos estão em 655 nm e 722 nm, a cor absorvida pela solução está entre o violeta e o vermelho, então a cor emitida é entre o verde e o verde amarelado, com emissão maior no verde.

Como o Aluno AQG46 utilizou o espectro, sua análise afastou-se do senso comum, de que a solução de níquel é de cor verde pura, detalhando que o verde, neste caso, é uma mistura de cores que enxergamos como esse tom específico.

Somente 7 alunos (de 58) utilizaram teorias hipotéticas para basear suas respostas, ainda que elas não sejam tão elaboradas ou corretas como esperava o professor. Entretanto, essas respostas mostram um entendimento sobre o que é explicação que se aproxima daquele expressado pelo professor, conforme exemplificam as respostas a seguir:

AQG41: Soluções de Ni^{2+} são verdes pois a vibração dos átomos do metal faz com que eles reflitam a luz de ondas no comprimento da luz verde.

AQG34: Os átomos de níquel (Ni^{2+}) absorvem a emissão de luz na faixa do vermelho (647-700 nm) e refletem a luz no espectro verde (441,2-575,0 nm). Trata-se de uma propriedade específica da matéria, em que cada elemento apresenta suas próprias raias de absorção e emissão da luz no espectro visível, conforme ilustram os experimentos de Fraunhofer. Tais propriedades estão associadas às particularidades quânticas de cada átomo, tal como sua distribuição em diferentes subníveis energéticos, sua quantização própria (seus próprios espectros de emissão e de absorção de energia em quantas).

4.4.1.2 A explicação da cor em soluções diluídas

Quando o professor abordou em aula o procedimento envolvendo soluções coloridas, ele começou a discutir os conteúdos indicando de que maneira os alunos teriam que analisar os fenômenos.

Professor T: (...) experimento com sulfato de níquel que vocês vão fazer essas diluições aqui ó ((apontando para o roteiro do experimento))... no tubo de ensaio... e vocês vão observar... por exemplo... vão comparar.... as cores verdes do sulfato de níquel pra cada uma dessas diluições que vocês vão fazer no tubo de ensaio... tá bom? Então o que tá acontecendo com essa cor? tá mudando a absorção da cor? tá mudando a intensidade da cor? o que que tá acontecendo? tá bom? e depois vocês vão tirar um espectro de absorção...(...)

Nesse trecho, o professor enfatiza a pergunta “o que está acontecendo?” para que os alunos fiquem atentos ao fenômeno. Além disso, na sequência ele menciona o espectro de absorção. O professor explicou o funcionamento de um espectrofotômetro, o significado do espectro, e terminou explicando o que é o fenômeno de absorção e sua relação com a curva de absorção.

Professor T: (...) então o que eu acabei de dizer pra vocês? eu tô tirando que um espectro de absorção é absorbância para cada λ né? (...) e essa medida aqui foi obtida de que maneira? fazendo essa relação de intensidades ((de entrada e de saída da luz na amostra))... e esse espectro aqui é pra essa substância aqui ((apontando para a estrutura molecular que remete ao espectro que ele usou como exemplo, no *slide* da aula))... só pra vocês saberem da onde veio essa curva aqui... agora... mais uma pergunta... (...) essa absorção se dá em absorção... na verdade essa energia fotônica absorvida... ela é absorvida e faz o que com a amostra? excita elétrons, não é? ok? só que pra átomos o espectro de absorção e emissão era de linhas né?... aqui é uma substância molecular e tem uma banda... (...)

Depois da aula experimental, ao responder à questão do relatório (gabarito da questão) “*Com base nos experimentos da diluição da solução contendo íons Ni^{2+} (aq) nos tubos de ensaio, houve mudança de coloração (intensidade) ou no comprimento de onda de absorção? O que ocorre quando se observa as soluções no sentido transversal e longitudinal? Justifique.*”, o professor considerou a utilização do espectro de absorção como uma evidência mediada tácita de que a mudança ocorria na intensidade e não no comprimento de onda da luz visível:

Também pelo espectro de absorção pode ser observado que não ocorre uma alteração nas regiões de absorção (comprimentos de onda), apenas nas intensidades de absorção, devida à diluição da amostra. Logo, a justificativa é a de que a espécie que absorve é a mesma e a intensidade muda devido à mudança das concentrações. (grifos nossos)

Na segunda parte da questão, o professor pergunta “o que ocorre”, remetendo ao seu conceito de explicação, que inclui teorias hipotéticas:

Ao se observar as soluções no sentido transversal e longitudinal se verifica diferença na intensidade da cor, sendo uma cor mais intensa observada ao se olhar o tubo no sentido longitudinal. Estas diferenças são devidas aos

diferentes caminhos ópticos em cada caso. Ao se observar a amostra no sentido transversal o caminho óptico é de aproximadamente 1 cm, e no longitudinal de 4 – 5 cm. Logo, quanto maior o caminho óptico, maior o número de moléculas que absorvem luz.

Obs: o aluno não precisa necessariamente usar o termo caminho óptico, basta transmitir o conceito. (grifos nossos)

Nesse item, quando os alunos respondiam sobre se era a intensidade ou o comprimento de onda que mudava, eles continuaram utilizando, predominantemente, teorias fenomenológicas referindo a evidências não mediadas. Porém, mais alunos deram respostas referindo a teorias hipotéticas quando perguntados sobre a diferença de coloração nos sentidos longitudinal e transversal. Os seguintes exemplos são representativos:

AQG61: A diluição dos íons Ni^{2+} (aq) provoca uma mudança na coloração (intensidade). A partir da observação transversal dos tubos de ensaio, percebe-se que a intensidade da coloração verde é menor, quanto menor for a concentração dos íons Ni^{2+} (aq). Ao observar longitudinalmente e transversalmente um mesmo tubo, verifica-se que longitudinalmente a coloração é mais intensa, porque a luz refletida ao olho humano encontra, em sua trajetória, um maior número de átomos no caso íons Ni^{2+} (aq), mesmo se tratando da mesma concentração.

AQG29: A solução mais concentrada apresenta coloração mais intensa e absorve mais radiação do que solução menos concentrada, porém o comprimento de onda de absorção não se altera. Isso ocorre porque são os íons Ni^{2+} (aq) que dão coloração à solução e absorvem a radiação, assim, quanto maior o número de íons (concentração), mais intensa será a coloração e absorverá maior quantidade de radiação. Como o comprimento de onda de absorção depende do material e não da quantidade da mesma, não há alteração.

AQG39: A tonalidade de verde tornou-se progressivamente mais clara de acordo com as quantidades de solvente (água), as quais foram aumentadas em cada solução em detrimento da quantidade de soluto (NiSO_4). Especificamente no tubo B (solução de 4 mL de Ni^{2+} + 4mL de água), observou-se uma progressão de tonalidade. Ocorreu uma tonalidade mais escura de verde ao fundo do tubo de ensaio em relação à superfície

enquanto nos outros tubos houve homogeneidade da cor em todo seu volume.

AQG40: Ao serem diluídas, as soluções de níquel apresentaram mesma cor com diferentes intensidades por causa da quantidade de íons presentes num mesmo volume. Analisadas do ponto de vista transversal, as soluções parecem mais claras, pois têm menos íons em uma mesma faixa, absorvendo menos luz vermelha. Vistas longitudinalmente, as soluções parecem mais escuras, pois há maior absorção de luz vermelha naquela pequena área do tubo de ensaio. (grifos nossos)

Analisando os trechos destacados nos exemplos acima, compreende-se que nesse item há maior aproximação entre o tipo de explicação dada pelos alunos com aquela esperada pelo professor. No entanto, as explicações dos alunos são pouco detalhadas, e 26 dos 58 alunos deram respostas baseadas em teorias fenomenológicas. As respostas a esse item também reforçam a ideia de que os alunos iniciantes em química não demonstram preferência pela evidência mediada, pois somente 5 deles se referiram ao espectro de absorção nas respostas a esta questão.

CAPÍTULO 5. Considerações Finais

“ÁTOMOS, MOLÉCULAS, LIGAÇÕES QUÍMICAS... TODAS ESSAS ENTIDADES QUE VOCÊ NÃO PODE VER. FOI ISSO QUE ME LEVOU A BEBER. MAS, AGORA, EU POSSO VÊ-LAS!”

Figura 4 – A dificuldade de ver as coisas. Charge adaptada de Harris (2007).

A figura 4 problematiza, de forma caricata, a grande dificuldade de “ver” os construtos teóricos nas transformações químicas. O estabelecimento de relações entre os construtos teóricos e os fenômenos é um dos grandes obstáculos para se ensinar e aprender Química. Os resultados obtidos e apresentados nesta tese apontam para a existência de mais um ponto a ser considerado no processo de ensino-aprendizagem de Química e, principalmente, no que concerne à Química Geral no Ensino Superior: a diferença entre os tipos de evidências experimentais (mediadas e não mediadas) não pode ser tratada como um conhecimento tácito. A presente pesquisa permite perceber que as dificuldades dos estudantes se relacionam ao entendimento sobre o que significam as evidências mediadas, e sobre como essa mediação é feita. Foi ressaltada a dificuldade de aceitação, por parte dos alunos iniciantes, dos gráficos e espectros como evidências para a construção de suas explicações. A evidência não mediada é de mais fácil

apropriação pelos alunos, pois eles a veem diretamente – podendo eventualmente até ser manipulada com facilidade, como no caso da mudança de cor observada no experimento da “garrafa azul”, por exemplo. O nível macroscópico do conhecimento, para os químicos iniciados, pode ser entendido como mudança de cor, liberação de gás, etc., mas também pode abranger gráficos, espectros, etc. Para o aluno ainda iniciante na Química, macroscópico é aquilo que ele consegue enxergar diretamente, e sobre o que ele pode ter um conhecimento intuitivo prévio, ou seja, as evidências não mediadas. A incorporação dos significados das evidências que são produzidas pela instrumentação analítica envolve processos mais complexos. Do ponto de vista do químico iniciado, um espectro, por exemplo, adquire um valor mais rigoroso e informativo do que uma evidência diretamente acessível aos sentidos. No entanto, embora o espectro forneça evidências perceptíveis (propriedades) – a partir das quais o químico elabora conclusões, considerando as perspectivas da instrumentação e do realismo químico em que está inserido – o próprio químico iniciado reconhece que essas evidências podem não ser conclusivas.

A evidência mediada não pode ser colocada como determinante, mas sim como condicionante do entendimento e aprendizagem das teorias químicas. No entanto, é preciso considerar também que as evidências não mediadas não mais se constituem nos principais fundamentos do conhecimento químico atual. A Química, como ciência, tem que ser entendida como um processo que não se iniciou pela compreensão complexa dos átomos, íons, moléculas, ou seja, das entidades submicroscópicas. Historicamente, da manipulação de misturas se chegou ao conceito de substâncias, e destas se chegou ao conceito moderno de átomos. A tabela periódica dos elementos, por exemplo, foi organizada tendo como critérios as

propriedades físicas e químicas (macroscópicas) das substâncias, e não a distribuição eletrônica (conceito que somente viria a ser desenvolvido décadas depois do trabalho de Mendeleev). Assim, entendemos que, no ensino da Química, é necessário considerar primeiro o que é sensível para depois chegar no abstrato e, ao longo do processo, procurar caracterizar, explicitamente, como saímos da Química das substâncias para a Química das moléculas.

O ensino de Química talvez necessite buscar alternativas ao "ver", pois quem vê, naturalmente vê algo enviesado. Mas a interpretação dos fenômenos químicos também passa pelas representações gráficas, como os espectros, e está intimamente relacionada à Química das moléculas. A compreensão teórica a respeito do que esses gráficos representam é difícil para os iniciantes, pois estes estão acostumados a observar transformações químicas "com seus próprios olhos", diretamente – ou seja, a lidar com evidências não mediadas por instrumentos. Foi possível observar, nas aulas experimentais analisadas, que determinadas atividades foram voltadas para desenvolver, nos alunos ingressantes, habilidades relativas a coletar e descrever evidências observacionais diretas. Uma grande dificuldade reside, porém, em passar para o próximo entendimento, que se refere àquelas entidades que os olhos já não veem. Sem refletir sobre isso a dificuldade em entender a Química se instaura, pois as explicações para as evidências sempre são baseadas no nível submicroscópico. No entanto, além da necessidade de explicitar a relação entre as evidências e as teorias, acreditamos que haja também a necessidade de problematizar as diferenças entre os tipos de evidências que foram sendo reunidas pelos químicos para a construção da explicação para um determinado fenômeno.

Consideremos, por exemplo, o caso da observação dos fogos de artifício e dos espectros de linhas. Para ambas as situações, temos uma teoria que trata de níveis quantizados de energia e de transições eletrônicas entre esses níveis; temos um fenômeno em que diferentes elementos químicos emitem luz de cores características; mas temos evidências de diferentes tipos. No caso dos fogos de artifício, a evidência é direta, ou se apresenta de maneira não mediada aos olhos do observador. No caso dos espectros de linhas, a evidência é mediada por registros fotográficos ou eletrônicos (sendo que estes últimos podem apresentar a evidência ao observador mediada por uma tela de computador ou por um registro em papel, por exemplo). O entendimento da evidência mediada passa, em algum momento, pela compreensão do meio utilizado para gerá-la ou registrá-la – o que, em geral, requer a compreensão de alguma teoria relacionada ao funcionamento do instrumento de mediação. Vale ressaltar que, mesmo explicitando o funcionamento do instrumento, como o Professor T fez na aula analisada sobre absorção de luz, os estudantes ainda tiveram dificuldades em utilizar as teorias hipotéticas e evidências mediadas. As dificuldades dos alunos em utilizar teorias hipotéticas em suas explicações talvez possam ser atribuídas ao fato de estarem há pouco tempo no curso, mas também às escolhas de contextualização e estratégias metodológicas utilizadas pelo professor – que poderia ter explicitado a natureza das teorias e evidências, e por que a utilização de evidências mediadas tem maior valor na pesquisa em química. Pesquisas em ensino apontam que os estudantes do ensino médio têm dificuldade em entender entidades teóricas abstratas (Davidowitz e Chittleborough, 2009; Johnstone, 2000; Souza e Cardoso, 2008; Wu, 2003), e assim o acréscimo da evidência mediada traz mais um obstáculo.

Assim, os resultados analisados também indicam que a visão do mundo físico para o professor universitário é diferente da visão do aluno, o que se relaciona a diferentes posturas filosóficas. Isso pode ser explicado relacionando o conceito de observabilidade e a perspectiva realista característica de químicos profissionais. Os químicos são realistas por conta da vivência experimental: é difícil não acreditar que uma molécula, que se representa no papel com determinada forma geométrica, não corresponde àquilo que foi sintetizado e caracterizado, quando as propriedades observadas correspondem exatamente àquilo que era esperado. Além disso, para a identificação de estruturas moleculares, as substâncias investigadas são submetidas a diferentes métodos analíticos (técnicas baseadas em diferentes princípios, tais como RMN, infravermelho e espectrometria de massas) com resultados convergentes, não restando dúvidas quanto à realidade das estruturas (Tontini, 1999). No entanto, o aluno ingressante na Universidade não tem essa vivência. Muitos estão manipulando experimentos pela primeira vez nas disciplinas de QGI e FundQExp, tendo dificuldades para relacionar diretamente os fenômenos com os construtos teóricos. A falta de uma perspectiva filosófica característica da cultura química também pode trazer dificuldades aos alunos para interpretar evidências mediadas: o espectro de absorção mostra que o verde não é “puro”, mas os alunos confiaram no verde que eles viam diretamente, e assim preferiram, para a construção de suas explicações, o tipo de evidência mais intuitiva para eles. A apresentação, por parte do professor, de evidências mediadas por instrumentos parece ser parte integrante da estratégia que visa aproximar os estudantes das teorias hipotéticas em química, auxiliando no processo de deslocar a visão desses estudantes de um ponto de vista inicialmente focalizado em teorias fenomenológicas para o viés das teorias hipotéticas.

Diante disso, percebe-se que os elementos que compõem a natureza das explicações em Química são as teorias fenomenológicas e hipotéticas, e as evidências mediadas e não mediadas, em várias combinações: a explicação pode conter teorias fenomenológicas OU hipotéticas com evidências mediadas ou não mediadas, ou ambas; e conter teorias fenomenológicas E hipotéticas com evidências mediadas ou não mediadas, ou ambas.

A pesquisa realizada produziu, além de uma riqueza de dados coletados, e dos resultados discutidos nesta tese, diversas outras questões que abrem perspectivas para investigações futuras. Destacamos aqui algumas das questões que permanecem no aguardo de estudos mais aprofundados: Como e quando ocorre a aceitação das evidências mediadas no processo formativo do químico? Como ensinar Química Clássica (e o que ensinar dessa Química, e por quê) se a Química dos laboratórios de pesquisa não é mais clássica? Ou seja, que enfoques devem ser adotados, que conteúdos devem ser selecionados, e por quais motivos devemos ensinar a Química das substâncias, se o que fazemos é a Química das moléculas? Acreditamos que buscar respostas para perguntas como essas pode gerar mais elementos para entendermos a complexidade de se ensinar Química Geral no contexto da formação de químicos, para além da escolha de conteúdos e metodologias, mas abrangendo também questões filosóficas características do ensino e aprendizagem de Química.

Referências

- Abraham, M.R.; Craolice, M.S.; Graves, A.P.; Aldhamash, A.H.; Kihega, J.G.; Gal, J.G.P. ; Varghese, V. The Nature and State of General Chemistry Laboratory Courses Offered by Colleges and Universities in the United States. **Journal of Chemical Education**, 1997, v. 74, n. 5, p. 591-594.
- Acar, B.; Tarhan, L. Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2007, v. 5, p. 349-373.
- Afra, N.C.; Osta, I.; Zoubair, W. Students' alternative conceptions about electricity and effect of inquiry-based teaching strategies. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2009, v. 7, p. 103-132.
- Alikj, M. C.; Ayas, A. A.; Coll, R. K. Enhancing pre-service elementary teachers' conceptual understanding of solution chemistry with conceptual change text. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2007, v. 5, p. 1-28.
- Amend, J.R.; Furstenau, R.P.; Tucker, K. Student-designed experiments in general chemistry using laboratory interfacing. **Journal of Chemical Education**, 1990, v.67, n.7, p. 593 -595.
- Annetta, L.; Mangrum, J.; Holmes, S.; Collazo, K.; Cheng, M. Bridging Realty to Virtual Reality: Investigating gender effect and student engagement on learning through video game play in an elementary school classroom. **International Journal of Science Education**, 2009, v. 31, n.8, p.1091-1113.
- Araújo, M.C.; Porto, P.A. A implantação da análise instrumental no Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Anais da **III Conferencia Latinoamericana International, History and Philosophy of Science Teaching Group IHPST- LA**, Santiago do Chile, 2014, p. 413-420.
- Arrington, C.A.; Hill, J.B.; Radfar, R.; Whisnant, D.M.; Bass, C. G. Peer Mentoring in the General Chemistry and Organic Chemistry Laboratories. The Pinacol Rearrangement: An Exercise in NMR and IR Spectroscopy for General Chemistry and Organic Chemistry Laboratories. **Journal of Chemical Education**, 2008, v. 85, n. 2, p. 288-290.
- Avargil, S.; Bruce, M.R.M.; Amar, F.G.; Bruce, A.E. Students' Understanding of Analogy after a CORE (Chemical Observations, Representations, Experimentation) Learning Cycle, General Chemistry Experiment. **Journal of Chemical Education**, 2015, agosto. Disponível em: <
<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.jchemed.5b00230> >. Acessado em: 14 de agosto 2015.
- Aydeniz, M.; Pabuccu, A.; Cetin, P.S.; Kaya, E. Argumentation and students' conceptual understanding of properties and behaviors of gases. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2012, v. 10, p. 1303-1324.
- Ayyildiz, Y.; Tarhan, L. Case study applications in chemistry lesson: gases, liquids, and solids. **Education Research and Practice**, 2013, v. 14, p. 408-420.
- Bailey, J.M.; Johnson, B.; Prather, E.E.; Slater, T.F. Development and Validation of the Star Properties Concept Inventory, **International Journal of Science Education**, 2012, v.34, n.14, p. 2257-2286.

Baird, D. Analytical chemistry and the 'big' scientific instrumentation revolution. In: Morris, P.J.T. (Orgs.). **From Classical To Modern Chemistry: The Instrumental Revolution**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, p 29-56, 2002.

Bamberger, Y.M.; Davis, E.A. Middle-School Science Students' Scientific Modelling Performances Across Content Areas and Within a Learning Progression. **International Journal of Science Education**, 2013, v. 35, n. 2, p. 213–238.

Banet, E.; Ayuso, G. E.. Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. **International Journal of Science Education**, 2003, v. 25, n.3, p. 373-407.

Bardini, C.; Pierce, R.U.; Stacey, K. Teaching Linear functions in Context with Graphics Calculators: Students' Responses and the Impact of the Approach on Their Use of Algebraic Symbols. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2004, v.2, p. 353-376.

Beerenwinkel, A.; Parchmann, I.; Gräsel, C. Conceptual change texts in chemistry teaching: A study on the particle model of matter. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2011, n. 9, p.1235- 1259.

Bilgin, I. Promoting pre-service elementary students' understanding of chemical equilibrium through discussions in small groups. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2006, v. 4, p.467-484.

Bindel, T.H. Exploring Chemical Equilibrium with Poker Chips: A General Chemistry Laboratory Exercise. **Journal of Chemical Education**, 2012, v. 89, n. 6, p. 759–762.

Black, S.L. General Chemistry Laboratory—Scientific Inquiry: 157 New Experiments in One Semester. **Journal of Chemical Education**, 1996, v. 73 n. 8, p. 776-778.

Blanco, L.H. ; Romero, C.M. A Systematic Experimental Test of the Ideal Gas Equation for the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 1995, v. 72, n. 10, p. 933-936.

Bogdan, R.; Biklen, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. trad. Alvarez, M.J.A.; Santos, S.B. dos; Baptista, T.M. Porto: Porto Editora, 1994.

Borgsmiller, K.L.; O'Connell, D.J.; Klauenberg, K.M.; Wilson, P.M.; Stromberg, C.J. Infrared and Raman Spectroscopy: A Discovery-Based Activity for the General Chemistry Curriculum. **Journal of Chemical Education**, 2012, v. 89, n. 3, p. 365–369.

Bosma, W.B. Using Chemistry and Color To Analyze Household Products: A 10-12 Hour Laboratory Project at the General Chemistry Level. **Journal of Chemical Education**, 1998, v. 75, n. 2, p. 214-215.

Bowen, R.; Hartung, R.; Gindt, Y.M. A Simple Protein Purification and Folding Experiment for General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2000, v. 77 , n. 11, p. 1456-1457.

Bragg, L.A. Testing the effectiveness of mathematical games as a pedagogical tool for children's learning. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2012, v.10, p.1445-1467.

Brandstädter, K.; Harms, U.; Großschedl, J. Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices. **International Journal of Science Education**, 2012, v. 34, n. 14, p. 2147–2170.

Brown, B.A.; Ryoo, K.; Rodriguez, J. Pathway Towards Fluency: Using ‘disaggregate instruction’ to promote science literacy. **International Journal of Science Education**, 2010, v. 32, n.11, p. 1465-1493.

Brown, T.L. The metaphorical foundations of chemical explanation. In: Earley J. (ed.) **Chemical Explanation, Annals of the New York Academy of Sciences**, volume 988, 2003, p. 209-216.

Budiman, Z.B.; Halim, L.; Meerah, S.M.; Osman, K. The effects of cognitive conflict management on cognitive development and science achievement. **International Journal of Science and Mathematics Education**, novembro de 2013, Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10763-013-9460-6>. Acessado em dezembro de 2013.

Bunting, R.K.; Swarat, K.; Yan, D.; Finello, D. Synthesis and Characterization of a Conducting Polymer: An Electrochemical Experiment for General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 1997, v. 74, n. 4, p. 421-422.

Cacciatore, K.L.; Sevia, H. Incrementally Approaching an Inquiry Lab Curriculum: Can Changing a Single Laboratory Experiment Improve Student Performance in General Chemistry? **Journal of Chemical Education**, 2009, v.86, n. 4, p. 498-505.

Cacciatore, K.L.; Sevia, H. Teaching Lab Report Writing through Inquiry: A Green Chemistry Stoichiometry Experiment for General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2006, v. 83, n.7, p. 1039-1041.

Cakmakci, G.; Aydogdu, C. Designing and evaluating an evidence-informed instruction in chemical kinetics. **Chemistry Education Research and Practice**, 2011, v. 12, p. 15–28.

Cakmakci, G.; Tosun, O.; Turgut, S.; Orenler, S.; Sengul, K.; Top, G. Promoting an inclusive image of scientists among students: towards research evidence-based practice. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2011, v. 9, p. 627-655.

Çalik, M.; Ayas, A.; Coll, R.K. Investigating the effectiveness of an analogy activity in improving students’ conceptual change for solution chemistry concepts. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2009, v.7, p.651-676.

Campbell, D.T.; Stanley, J.C., Experimental and quasi-experimental designs for research on teaching. In: Gage, N.L. (Ed) **Handbook of research on teaching**. Chicago: McNally College Publishing Company, 1963.p.171-247.

Carvalho-Knighton, K.M.; Keen-Rocha, L. Using Technology To Enhance the Effectiveness of General Chemistry Laboratory Courses. **Journal of Chemical Education**, 2007, v. 84, n. 4, p. 727-730.

Cavallo, A.; McNeely, J.C.; Marek, E.A. Research report. **International Journal of Science Education**, 2010, v.25, n.5, p.583-603.

Cepriá, G.; Salvatella, L. General Procedure for the Easy Calculation of pH in an Introductory Course of General or Analytical Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2014, v. 91, n. 4, p. 524–530.

Cessna, S.G.; Kishbaugh, T.L.S.; Neufeld, D.G.; Cessna, G.A. A Multiweek, Problem-Based Laboratory Project Using Phytoremediation To Remove Copper from Soil. General Chemistry Labs for Teaching Thermodynamics and Equilibrium. **Journal of Chemical Education**, 2009, v. 86, n.6, p. 726-729.

Chen, J.; Cowie, B.. Engaging Primary Students in Learning about New Zealand Birds: A socially relevant context. **International Journal of Science Education**, 2013, v. 35, n.8, p.1344-1366.

Chen, Y.; Yaung, J. Alka-Seltzer Fizzing-Determination of Percent by Mass of NaHCO_3 in Alka-Seltzer Tablets. An Undergraduate General Chemistry Experiment. **Journal of Chemical Education**, 2002, v. 79, n.7, p. 848-850.

Clark, T.M.; Chamberlain, J.M. Use of a PhET Interactive Simulation in General Chemistry Laboratory: Models of the Hydrogen Atom. **Journal of Chemical Education**, 2014, v. 91, n. 8, p. 1198–1202.

Coffin, F.D. A student research style report project for the general chemistry laboratory. **Journal of Chemical Education**, 1993, v. 70 n. 10, p. 852 – 853.

Cohen L.; Manion L.; Morrison K. **Research methods in education**. London: Routledge, 2007, 638p.

Copper, C.L.; Koubek, E. A Kinetics Experiment To Demonstrate the Role of a Catalyst in a Chemical Reaction: A Versatile Exercise for General or Physical Chemistry Students. **Journal of Chemical Education**, 1998, v. 75, n. 1, p. 87-89.

Corcoran, K.B.; Brian E. Rood, B.E.; Trogden, B.G. Chemical Remediation of Nickel(II) Waste: A Laboratory Experiment for General Chemistry Students. **Journal of Chemical Education**, 2011, v. 88, n.2, p. 192–194.

Csizmar, C.M. ; Force, D.A. ; Warner, D.L.; Implementation of Gas Chromatography and Microscale Distillation into the General Chemistry Laboratory Curriculum as Vehicles for Examining Intermolecular Forces. **Journal of Chemical Education**, 2011, v. 88, n. 7, p. 966–969.

D'Amelia, R.; Franks, T. ; Nirode, W.F. Introduction of Differential Scanning Calorimetry in a General Chemistry Laboratory Course: Determination of Thermal Properties of Organic Hydrocarbons. **Journal of Chemical Education**, 2007, v. 84, n.3, p. 453-455.

D'Amelia, R.P.; Franks, T.;Nirode, W.F. Introduction of Differential Scanning Calorimetry in a General Chemistry Laboratory Course: Determination of Molar Mass by Freezing Point Depression. **Journal of Chemical Education**, 2006, v.83, n.10, p. 1537-1540.

D'Amelia, R.P.; Stracuzzi, V.; Nirode, W.F. Introduction of Differential Scanning Calorimetry in a General Chemistry Laboratory Course: Determination of Heat Capacity of Metals and Demonstration of the Law of Dulong and Petit. **Journal of Chemical Education**, 2008, v. 85, n. 1, p. 109-111.

Dagher, Z.R.; Erduran, S. Laws and Explanations in Biology and Chemistry: Philosophical Perspectives and Educational Implications. In: Matthews, M., R. (Ed.),

International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching. 2014, p. 1203-1232.

Darveau, S.A. ; Mueller, J. ; Vaverka, A.; Barta, C.; Fitch, A.; Jurzenski, J.; Gindt, Y. A Modular Laser Apparatus for Polarimetry, Nephelometry, and Fluorimetry in General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2004, v. 81, n. 3, p. 401-405.

Dass, P.M. Understanding the nature of scientific enterprise (NOSE) through a discourse with its history: the influence of an undergraduate 'history of science' course. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2005, v. 3, p.87–115.

Davidowitz, B.; Chittleborough, G. Linking the macroscopic and sub-microscopic levels: diagrams. In: Gilbert, J.K.; Treagust, D. (Eds.) **Multiple representations in chemical education**. Netherlands: Springer, 2009, v.4, p. 169-191.

Davis, C.M.; Uffelman, E.S.; Cox, E.H.; Goehring, J.B.; Lorig, T.S. An NMR-Smell Module for the First-Semester General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2003, v. 80, n.12, p. 1368-1371.

Del Re, G. Models and analogies in science. **HYLE**, 2000, v. 6, n. 1, p. 5-15.

Del Re, G. Ontological status of molecular structure. **HYLE**, 1998, v. 4, n. 2, p. 81-103.

Demircioglu, G.; Ayas, A.; Demircioglu, H. Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. **Chemistry Education Research and Practice**, 2005, v. 6, n.1, p. 36-51.

Dewit, D. G. Predicting Inorganic Reaction Products: A Critical Thinking Exercise in General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2006, v. 83, n. 11, p. 1625-1628.

Domin, D.S. A Content Analysis of General Chemistry Laboratory Manuals for Evidence of Higher-Order Cognitive Tasks. **Journal of Chemical Education**, 1999, v. 76, n. 1, p. 109-111.

Donlin, M.J.; Frey, R.F.; Putnam, C.; Proctor, J. ; Bashkin, J.K. Analysis of Iron in Ferritin, the Iron-Storage Protein: A General Chemistry Experiment. **Journal of Chemical Education**, 1998, v. 75, n. 4, p. 437-441.

Everest, M.A.; Vargason, J.M. How Does Atomic Structure Affect Electron Clouds? A Guided-Inquiry NMR Laboratory for General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2013, v. 90, n.7, p. 926–929.

Feng, S.; Tuan, H. Using arcs model to promote 11th graders' motivation and achievement in learning about acids and bases. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2005, v.3, p.463-484.

Figueiras, C.A.L. A espectroscopia e a química da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. **Química Nova na Escola**, 1996, p.22-25.

Fisher, G., Explaining explanation in Chemistry. In: Earley J. (ed.) **Chemical Explanation, Annals of the New York Academy of Sciences**, volume 988, 2003, p. 16-21.

Fong, L.K. Separation and Identification of a Mixture of Group 6 Transition-Metal Carbonyl Compounds Using GC–MS in the General Chemistry Curriculum. **Journal of Chemical Education**, 2004, v. 81, n. 1, p. 103-105.

Fortus, D.; Krajcik, J.; Dershimer, R.C.; Marx, R.W.; Mamlok-Naaman, R. Design-based science and real-world problem-solving. **International Journal of Science Education**, 2005, v.27, n.7, p. 855-879.

Furlan, P.Y.; Melcer, M.E. Removal of Aromatic Pollutant Surrogate from Water by Recyclable Magnetite-Activated Carbon Nanocomposite: An Experiment for General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2014, v.91, n. 11, p. 1966–1970.

Furlong, W.R.; Quackenbush, M.R.; Indralingam, R. What Is That Colorless Solution? A Qualitative Analysis Laboratory for General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2009, v. 86, n. 8, p. 953-954.

Gerstner, S.; Bogner, F.X. Cognitive Achievement and Motivation in Hands-on and Teacher-Centred Science Classes: Does an additional hands-on consolidation phase (concept mapping) optimise cognitive learning at work stations?. **International Journal of Science Education**, 2010, v. 32, n. 7, p. 849-870.

Gobert, J.D.; O'Dwyer, L. ; Horwitz, P.; Buckley, B. C.;Levy, S.; Wilensky, U. Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. **International Journal of Science Education**, 2011,v. 33, n. 5, p. 653-684.

Golde, M.F.; McCreary, C.L.; Koeske, R. Peer Instruction in the General Chemistry Laboratory: Assessment of Student Learning. **Journal of Chemical Education**, 2006, v. 83, n. 5, p. 804-810.

Good, R.J. Why are chemists turned off by philosophy of science? **Foundations of chemistry**, v. 1 , p. 65-95, 1999.

Gregorius, R.M.; Santos, R.; Dano, J.B.; Gutierrez, J.J. Can animations effectively substitute for traditional teaching methods? Part I: preparation and testing of materials. **Chemistry Education Research and Practice**, 2010a, v. 11, p. 253 – 261.

Gregorius,R.M.; Santos, R.; Dano, J.B.; Gutierrez, J.J. Can animations effectively substitute for traditional teaching methods? Part II: Potential for differentiated learning. **Chemistry Education Research and Practice**, 2010b, v. 11, p. 262–266.

Griep, M.A.; Mikasen, M.L. Based on a True Story: Using Movies as Source Material for General Chemistry Reports. **Journal of Chemical Education**, 2005, v. 82, n. 10, p. 1501-1503.

Hagan Jr, W.J.; Edie, D.L.; Cooley, L.B. Imidazole as a pH Probe: An NMR Experiment for the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2007, v. 84, n. 7, p. 1188- 1189.

Hamilton-Ekeke, J. Relative Effectiveness of Expository and Field Trip Methods of Teaching on Students' Achievement in Ecology. **International Journal of Science Education**, 2007, v. 29, n. 15, p. 1869-1889.

Hansen, J.C. The Iodide-Catalyzed Decomposition of Hydrogen Peroxide: A Simple Computer-Interfaced Kinetics Experiment for General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 1996, v. 73, n. 8, p. 728-732.

Harris, S. **Charge**: 'Quarks, neutrinos, mesons. All those damn particles you can't see. That's what drove me to drink. But now i can see them!'. 2007. Disponível em: <<https://www.cartoonstock.com>>. Acesso em 26 de junho de 2016.

Harskamp, E.; Ding, N. Structured Collaboration versus Individual Learning in Solving Physics Problems. **International Journal of Science Education**, 2006, v. 28, n.14, p. 1669-1688.

Hartman, J.R.; Lin, S. Analysis of Student Performance on Multiple-Choice Questions in General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2011, v. 88, n. 9, p. 1223–1230.

Havdala, R.; Ashkenazi, G. Coordination of theory and evidence: Effect of epistemological theories on students' laboratory practice. **Journal of Research in Science Teaching**, 2007, v. 44, n. 8, p. 1134–1159.

Hawkins, I.; Phelps, A.J. Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry? **Chemistry Education Research and Practice**, 2013, 14, 516-523.

Hempel, C. G.; Oppenheim, P. Studies in the logic of explanation. Reprinted in: Pitt, J.C. (ed.). **Theories of explanation**. Oxford:oxford University Press, 1998, p. 9-46.

Hempel, C.G. **Philosophy of Natural Science**. Prentice-Hall Limited. 1966. 112p.

Henderson, L.L.; Mirafzal, G.A. A First-Class-Meeting Exercise for General Chemistry: Introduction to Chemistry through an Experimental Tour. **Journal of Chemical Education**, 1999, v. 76, n. 9, p. 1221-1223.

Hendry, R. F. Molecular models and the question of physicalism. **HYLE**, v. 5, n.2, p.143-160, 1999.

Herbert , S. Collateral Learning in Science: Students' responses to a cross-cultural unit of work. **International Journal of Science Education**, 2008, v. 30, n. 7, p.979-993.

Hilton, A.; Nichols, K. Representational Classroom Practices that Contribute to Students' Conceptual and Representational Understanding of Chemical Bonding. **International Journal of Science Education**, 2011, v. 33, n.16, p. 2215-2246.

Hong , Z.; Lin, H.; Lawrenz, F. Promoting Single-Parent Family Children's Attitudes toward Science and Science Performance through Extracurricular Science Intervention in Taiwan. **International Journal of Science Education**, 2008, v. 30, n. 4, p. 469-493.

Hopkins, T.A.; Samide, M. Using a Thematic Laboratory-Centered Curriculum To Teach General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2013, v. 90, n. 9, p. 1162–1166.

Howe, C.; Devine, A.; Tavares, J T. Supporting Conceptual Change in School Science: A possible role for tacit understanding. **International Journal of Science Education**, 2013, v. 35, n. 5, p. 864–883.

ller, H.D.; Justice, D.; Brauer, S.; Landis, A. Discovering ^{13}C NMR, ^1H NMR, and IR Spectroscopy in the General Chemistry Laboratory through a Sequence of Guided-Inquiry Exercises. **Journal of Chemical Education**, 2012, v. 89, n. 9, p. 1178–1182.

Instituto de Química-USP. **Universidade de São Paulo: Cursos de Graduação**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www3.iq.usp.br/paginas_view.php?idPagina=85>. Acesso em: 26 de agosto de 2016.

Jaber, L.Z.; Jaoude, S.B. A Macro–Micro–Symbolic Teaching to Promote Relational Understanding of Chemical Reactions. **International Journal of Science Education**, 2012, v. 34, n. 7, p. 973–998.

Jennings, K.T.; Epp, E.M.; Weaver, G.C. Use of a multimedia DVD for Physical Chemistry - analysis of its effectiveness for teaching content and applications to current research and its impact on student views of physical chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, 2007, v.8, n.3, p. 308-326.

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

Josephsen, J. Experimental Training For Chemistry Students: Does Experimental Experience From The General Sciences Contribute? **Chemistry Education Research and Practice**, 2003, n. 4, p. 205-218.

Kaberman, Z.; Dori, Y.J. Question posing, inquiry, and modeling skills of chemistry students in the case-based computerized laboratory environment. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2009, v. 7, p. 597-625.

Kalivas, J.H. A Service-Learning Project Based on a Research Supportive Curriculum Format in the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2008, v. 85, n. 10, p. 1410-1415.

Kaya, E. Argumentation Practices in Classroom: Pre-service teachers' conceptual understanding of chemical equilibrium. **International Journal of Science Education**, 2013, v. 35, n.7, p. 1139-1158.

Kennepohl, D. Using home-laboratory kits to teach general chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, 2007, n. 8, p. 337-346.

Krystyniak, R.A.; Heikkinen, H.W. Analysis of verbal interactions during an extended, open-inquiry general chemistry laboratory investigation. **Journal of Research in Science Teaching**, 2007, v.44, n. 8, p. 1160–1186.

Kurbanoglu, N.I.; Taskesenligil, Y.; Sozbilir, M. Programmed instruction revisited: a study on teaching stereochemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, 2006, v.7, n.1, p. 13-21.

Laszlo, P. Chemical Analysis as dematerialization. **HYLE**, 1998, v.4, n. 1, p. 29-38.

Lemes, A. F. G.; Porto, P. A. Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2013b, v. 13, n. 3. p. 121-147.

Lemes, A. F. G.; Porto, P. A. O fazer química e o ensinar química: algumas considerações em torno do realismo químico. **Enseñanza de las Ciencias**, 2013a, v. extra, p. 1531-1538.

Lemes, A.F.G. **Aspectos filosóficos e educacionais da química: investigando as concepções de doutorandos em química**. 2013.179f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Lindquist, D.; Mackin, J.; Nyasulu, F.W.; Cusworth, W. Flame Emission Spectrometry in General Chemistry Labs: Solubility Product (K_{sp}) of Potassium Hydrogen Phthalate. **Journal of Chemical Education**, 2007, v. 84, n. 3, p. 456-458.

Linenberger, K.J.; Cole, R.S.; Sarkar, S. Looking Beyond Lewis Structures: A General Chemistry Molecular Modeling Experiment Focusing on Physical Properties and Geometry. **Journal of Chemical Education**, 2011, v. 88 n. 7, p. 962-965.

Ling, C.D.; Bridgeman, A.J.; Quantitative Analysis in the General Chemistry Laboratory: Training Students To Analyze Individual Results in the Context of Collective Data. **Journal of Chemical Education**, 2011, v. 88, n. 7, p. 979-982.

Lubezky, A.; Dori, Y.J.; Zoller, U. Hocs-promoting assessment of students' performance on environment-related undergraduate chemistry. **Chemistry education: research and practice**, 2004, v. 5, n. 2, p. 175-184.

Maines, L.L.; Bruch, M.D. Identification of Unknown Chloride Salts Using a Combination of Qualitative Analysis and Titration with Silver Nitrate: A General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2012, v. 89, n. 7, p. 933-935.

Martin, C.B. ; Vandehoef, C.;Cook, A. The Use of Molecular Modeling as "Pseudoexperimental" Data for Teaching VSEPR as a Hands-On General Chemistry Activity. **Journal of Chemical Education**, 2015, v. 92, n. 8, p. 1364-1368.

Martinez-Borreguero , G.; Pérez-Rodríguez, A.L.;Suero-López, M.S.; Pardo-Fernández, P.J. Detection of Misconceptions about Colour and an Experimentally Tested Proposal to Combat them. **International Journal of Science Education**, 2013, v. 35, n.8, p.1299-1324.

Maurer, M.K.; Bukowski, M.R.; Menachery, M.D.; Zatorsky, A.R. Inquiry-Based Arson Investigation for General Chemistry Using GC-MS. **Journal of Chemical Education**, 2010, v. 87, n. 3, p. 311-313.

Mihok, M.; Keiser, J.T.; Bortiatynski, J.M.; Mallouk, T.E. An Environmentally Focused General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2006, v. 83, n. 2, p 250-252.

Morgil, I.; Arda, S.; Seçken, N.; Yavuz, S.; Özyalçın Oskay, O . The influence of computer-assisted education on environmental knowledge and environmental awareness. **Chemistry Education: Research and Practice**, 2004, v. 5, n. 2, p. 99-110.

Morgil, I.; Yavuz, S.; Oskay, O.O.; Arda, S. Tradicional and computer-assisted learning in teaching acids and bases. **Chemistry Education Research and Practice**, 2005, v. 6, n.1, p. 52-63.

Nagel, E. **The structure of science**: problems in the logic of scientific explanation. London: Routledge & Kegan Paul, 1982.

Needham, P. Chemical Substances and Intensive Properties. In: Earley J. (ed.) **Chemical Explanation, Annals of the New York Academy of Sciences**, volume 988, 2003, p.99-113.

Ni, C.; Lin, G.; Wang, T.; Ho, M. Using Luminescence To Show Intramolecular and Intermolecular Hydrogen Bonding: An Activity for General Chemistry or Physical Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2015, v. 92, n. 2, p. 322–327.

Nyasulu, F.; Macklin, J.; Cusworth, W. The Visible Spectrum of Liquid Oxygen in the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2002, v. 79, n. 3, p. 356-359.

Nyasulu, F.; Barlag, R.; Wise, L.; McMills, L. The H₃PO₄ Acid Ionization Reactions: A Capstone Multiconcept Thermodynamics General Chemistry Laboratory Exercise. **Journal of Chemical Education**, 2013, v. 90, n. 5, p. 642–645.

Nyasulu, F.; Nething, D.; Barlag, R.; Wise, L.; Arthasery, P. Thermodynamics of the [CoCl(iPrOH)₃]⁺ to [CoCl(iPrOH)₂(MeOH)₃]⁺ Reaction: A General Chemistry Laboratory Exercise. **Journal of Chemical Education**, 2012, v. 89, n. 4, p. 536–539.

Olmsted, J. A. Synthesis of Aspirin: A General Chemistry Experiment. **Journal of Chemical Education**, 1998, v. 75, n. 10, p. 1261-1263.

Olsen, R.J. Using Pooled Data and Data Visualization To Introduce Statistical Concepts in the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2008, v. 85, n. 4, p. 544-545.

Ostrovsky, V.N. Physical Explanation of the Periodic Table. In: Earley J. (ed.) **Chemical Explanation, Annals of the New York Academy of Sciences**, volume 988, 2003, p.182-192.

Özmen,H.; Demircioglu, G.; Coll, R.K. A comparative study of the effects of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students understanding of acid-base chemistry. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2009, v. 7, p. 1-24.

Pavel, J.T.; Hyde, E.C.; Bruch , M.D.; Structure Determination of Unknown Organic Liquids Using NMR and IR Spectroscopy: A General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2012, v. 89, n. 11, p. 1450–1453.

Pence, L.E.; Workman, H.J. Assessment of a Data-Verification System for the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2006, v. 83, n. 4, p. 668-671.

Pessoa Jr, O. A classificação das diferentes posições em filosofia da ciência. **Cognitio-estudos**. v. 6,n.1, p.1-73, 2009.

Pfennig, B.W.; Schaefer, A.K. The Use of Gas Chromatography and Mass Spectrometry To Introduce General Chemistry Students to Percent Mass and Atomic Mass Calculations. **Journal of Chemical Education**, 2011, v. 88, n.7, p. 970–974.

Pilatou, V.; Stavridou, H. Research report. **International Journal of Science Education**, 2004, v. 26, n.6, p.697-715.

Pinto, G.; Rohrig, B. Use of Chloroisocyanurates for Disinfection of Water: Application of Miscellaneous General Chemistry Topics. **Journal of Chemical Education**, 2003, v. 80, n. 1, p. 41-44.

Pulliam, C.R.; Pfeiffer, W.F.; Thomas, A. C.; Introducing NMR to a General Chemistry Audience: A Structural-Based Instrumental Laboratory Relating Lewis Structures, Molecular Models, and ^{13}C NMR Data. **Journal of Chemical Education**, 2015, v. 92, n. 8, p. 1378–1380.

Randler, C.; Bogner, F.X. Efficacy of two different instructional methods involving complex ecological content. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2009, v. 7, p. 315-337.

Ricci, R.W.; Ditzler, M.A. Discovery chemistry: A laboratory-centered approach to teaching general chemistry. **Journal of Chemical Education**, 1991, v.68, n. 3, p. 228-231.

Rozentalski, E.F. A Construção e compartilhamento de significados a respeito do conceito de orbital por um professor do ensino superior. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (X ENPEC)**, São Paulo: Águas de Lindóia, 2015. p. 1-8. Disponível em: <<http://www.xenpec.com.br/anais2015/resumos/R0298-1.PDF>>. Acessado em 22 de maio de 2016.

Sandi-Urena, S.; Cooper, M.M.; Gatlin, T.A.; Bhattacharyya, G. Students' experience in a general chemistry cooperative problem based laboratory. **Chemistry Education Research and Practice**, 2011, n. 12, p. 434-442.

Scerri, E. R. Philosophy of chemistry: A new interdisciplinary field? **Journal of Chemical Education**, v. 77, n.4, p. 522-525, 2000.

Scharfenberg, F.; Bogner, F.X. Instructional Efficiency of Changing Cognitive Load in an Out-of-School Laboratory. **International Journal of Science Education**, 2010, v.32, n.6, p. 829-844.

Schummer, J. Scientometric studies on chemistry I: The exponential growth of chemical substances 1800-1995. **Scientometrics**. v. 39, n. 1, p. 107-123, 1997a.

Schummer, J. Scientometric studies on chemistry II: aims and methods of producing new chemical substances. **Scientometrics**. v. 39, n. 1, p. 125-140, 1997b.

Schummer, J. The Impact of Instrumentation on Chemical Species Identity from chemical substances to molecular species In: Morris, P.J.T. (Orgs) **From Classical To Modern Chemistry: The Instrumental Revolution**. Cambridge : Royal Society of Chemistry. p. 188-211, 2002.

Seethaler, S.; Linn, M. Genetically modified food in perspective: an inquiry-based curriculum to help middle school students make sense of tradeoffs. **International Journal of Science Education**, 2004, v. 26, n.14, p.1765-1785.

Selco, J.I.; Roberts Jr, J.L.; Wacks, D.B. The Analysis of Seawater: A Laboratory-Centered Learning Project in General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2003, v. 80, n. 1, p. 54-57.

Sendur, G.; Toprak, M. The role of conceptual change texts to improve students' understanding of alkenes. **Chemistry Education Research and Practice**, 2013, v. 14, p.431-449.

She, H. Enhancing eighth grade students' learning of buoyancy: the interaction of teachers' instructional approach and students' learning preference styles.

International Journal of Science and Mathematics Education, 2005, v.3, p. 609–624.

Shipp, D.; Durham, B.; Sadoski, R.C. Metal Complexes of Trifluoropentanedione. An Experiment for the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2001, v. 78, n. 5, p. 665-666.

Silva, C.R.; Simoni, J.A.; Collins, C.H.; Volpe, P.L.O. Ascorbic Acid as a Standard for Iodometric Titrations. An Analytical Experiment for General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 1999, v. 76, n. 10, p. 1421-1422.

Silva, S. M. Da; Eichler, M. L.; Del Pino, J. C. As percepções dos professores de química geral sobre a seleção e a organização conceitual em sua disciplina. **Química Nova**, 2003, v. 26, n. 4, p.585-594.

Simoni, D.A.; Andrade, J. C.; Faigle, J. F. G.; Simoni, J. A. Um experimento com propostas múltiplas para um laboratório de química geral. **Química Nova**, 2002, v.25, n. 6a, p.1034-1039.

Simoni, D.A.; Andrade, J. C.; Simoni, J. A. Montagem de uma disciplina experimental: contribuição para a química geral. **Química Nova**, 2011, v.34, n.10, p.1818-1824.

Solow, M. Introduction of Mass Spectrometry in a First-Semester General Chemistry Laboratory Course: Quantification of MTBE or DMSO in Water. **Journal of Chemical Education**, 2004, v. 81, n. 8, p. 1172-1173.

Souza, K.A.F.D.; Cardoso, A.A. Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula. **Química Nova na Escola**, 2008, n. 27, p. 51-56.

Souza, K.A.F.D.; Porto, P.A. **Estratégias visuais na construção de uma realidade química**: análise semiótica das ilustrações em livros didáticos ao longo do século XX. In: Encontro Nacional de Pesquisa em educação em Ciências, 2011, Campinas: ABRAPEC, 2011. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0929-1.pdf>>. Acesso em: 4 de fevereiro de 2013.

Souza, K.A.F.D.; Porto, P.A. **How Chemistry Works?** Reflections on Triadic Approaches and a Contribution From Peircean Semiotics. In: 2012 NARST Annual International Conference, Indianápolis, IN, EUA. 2012 NARST Annual Conference Presentation Abstracts. Reston, VA, EUA: NARST, p. 65-66, 2012.

Spector, T.I. Using Infrared Spectroscopy for the Curricular Integration of General and Organic Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 1994, v. 71, n. 11, p. 946-947.

Staskun, M.G.; Russell, R.A. ; Glanville, J.O. Do the students think we are running the general chemistry laboratories better? **Journal of Chemical Education**, 1991, v. 68, n. 2, p. 152- 154.

Stavridou, H.; Marinopoulo, S. D. Water and air pollution: primary students' conceptions about "itineraries" and interactions of substances. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, 2001, v. 2, n. 1, p. 31-41.

Stemwedel, J.D. Causes in Chemical Explanations. In: Earley J. (ed.) **Chemical Explanation, Annals of the New York Academy of Sciences**, volume 988, 2003, p. 217-226.

Sturm, H.; Bogner, F.X. Student-oriented versus Teacher-centred: The effect of learning at workstations about birds and bird flight on cognitive achievement and motivation. **International Journal of Science Education**, 2008, v.30, n.7, p.941-959.

Su, K. The effects of a chemistry course with integrated information communication technologies on university students' learning and attitudes. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2008, v.6, p. 225-249.

Supasorn, S.; Suits, J.P.; Jones, L.L.; Vibuljan, S. Impact of a pre-laboratory organic-extraction simulation on comprehension and attitudes of undergraduate chemistry students. **Chemistry Education Research and Practice**, 2008, v.9, p.169–181.

Svihla, V.; Linn, M.C. A Design-based Approach to Fostering Understanding of Global Climate Change. **International Journal of Science Education**, 2012, v. 34, n.5, p. 651-676.

Sweeder, R.D.; Jeffery, K.A. A Comprehensive General Chemistry Demonstration. **Journal of Chemical Education**, 2013, v. 90, n. 1, p. 96–98.

Tao, P. Developing understanding of image formation by lenses through collaborative learning mediated by multimedia computer-assisted learning programs. **International Journal of Science Education**, 2004, v. 26, n. 10, p. 1171-1197.

Taylor, A.; Jones, G. Proportional Reasoning Ability and Concepts of Scale: Surface area to volume relationships in science. **International Journal of Science Education**, 2009, v. 31, n. 9, p. 1231-1247.

Taylor, D. ; Rogers, A.L.; Veal, W.R. Using Self-Reflection To Increase Science Process Skills in the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2009, v.86, n.3, p. 393-398.

Ticich, T.M. Carbon Dioxide Absorbers: An Engaging Experiment for the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2011, v. 88, n. 2, p. 189–191.

Tomasik, J.H.; Cottone, K.E.; Heethuis, M.T.; Mueller, A. Development and Preliminary Impacts of the Implementation of an Authentic Research-Based Experiment in General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2013, v. 90, n. 9, p. 1155–1161.

Tontini, A. Developmental aspects of contemporary chemistry: some philosophical reflections. **HYLE**, 1999, v.5, n. 1, p. 57-76.

Tosun, C.; Taskesenligil, Y. The effect of problem-based learning on undergraduate students' learning about solutions and their physical properties and scientific processing skills. **Chemistry Education Research and Practice**, 2013, v. 14, p. 36-50.

Treagust, D.F.; Chandrasegaran, A. L., Zain, A.N.M.; Ong, E.T; Karpudewan, M.; Halim, L. Evaluation of an intervention instructional program to facilitate understanding of basic particle concepts among students enrolled in several levels of study. **Chemistry Education Research and Practice**, 2011, v. 12, p. 251-261.

Treagust, D.F.; Chittleborough, G. Chemistry: A matter of understanding representations In: Brophy, J. (Orgs.). **Subject-specific instructional methods and activities**. New York: Emerald Group Publishing Limited, v.8, p.239-267, 2001.

van Staveren, M.N.; Edwards, K.D.; Apkarian, V.A. Playing with Light: Adventures in Optics and Spectroscopy for Honors and Majors General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2012, v. 89, n. 11, p. 1447–1449.

Vannatta, M.W.; Richards-Babb, M.; Sweeney, R.J. Thermochemistry to the Rescue: A Novel Calorimetry Experiment for General Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 2010, v. 87, n. 11, p. 1222–1224.

Veermans, K.; van Joolingen, W.; Jong, T. Use of heuristics to facilitate scientific discovery learning in a simulation learning environment in a physics domain. **International Journal of Science Education**, 2006, v. 28, n. 4, p. 341–36.

Vihalemm, R. The autonomy of chemistry: old and new problems. **Foundations of chemistry**, v.13, n.2, p. 97–107, 2011.

Viiri, J.; Saari, H. Research-based teaching unit on the tides. **International Journal of Science Education**, 2004, v. 26, n.4, p.463-481.

Villafañe, S.M.; Loertscher, J.; Minderhout, V.; Lewis, J.E. Uncovering students' incorrect ideas about foundational concepts for biochemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, 2011, v. 12, p. 210–218.

Vitz, E.; Egolf, B.P. LIMSport: Optimizing a Windows-Based Computer Data Acquisition and Reduction System for the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2002, v. 79, n. 9, p. 1060-1062.

Walker, J.P.; Sampson, V. Learning to Argue and Arguing to Learn: Argument-Driven Inquiry as a Way to Help Undergraduate Chemistry Students Learn How to Construct Arguments and Engage in Argumentation During a Laboratory Course. **Journal of Research in Science Teaching**, 2013, v. 50, n. 5, p. 561–596.

Wenzel, T.J. The Influence of Modern Instrumentation on the Analytical and General Chemistry Curriculum at Bates College. **Journal of Chemical Education**, 2001, v. 78, n. 9, p. 1164-1165.

Wesolowski, M.C. Integrating Biology into the General Chemistry Laboratory: Fluorometric Analysis of Chlorophyll a. **Journal of Chemical Education**, 2014, v. 91, n. 8, p. 1224–1227.

Wilhelm, J.A.; Smith, W.S.; Walters, K.L.; Sherrod, S.E; Mulholland, J. Engaging pre-service teachers in multinational, multi-campus scientific and mathematical inquiry. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2007, v.6, p. 131-162.

Wimpfheimer, T. Peer-Evaluated Poster Sessions: An Alternative Method to Grading General Chemistry Laboratory Work. **Journal of Chemical Education**, 2004, v. 81, n. 12, p. 1775-1776.

Winkelmann, K.; Baloga, M.; Marcinkowski, T.; Giannoulis, C.; Anquandah, G.; Cohen, P. Improving Students' Inquiry Skills and Self-Efficacy through Research-Inspired Modules in the General Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 2015, v. 92, n.2, p. 247–255.

Wong, N.; Lam, C.; Sun, X.; Chan, A.M.Y. From “exploring the middle zone” to “constructing a bridge”: experimenting in the spiral bianshi mathematics curriculum. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2009, v.7, p.363-382.

Woody, A.I. On Explanatory Practice and Disciplinary Identity. In: Earley J. (ed.) **Chemical Explanation, Annals of the New York Academy of Sciences**, volume 988, 2003, p. 22-29.

Wu, H. Linking the Microscopic View of Chemistry to Real-Life Experiences: Intertextuality in a High-School Science Classroom. **Science Education**, Madison, 2013, v.6, n. 87, p.868– 891.

Xu, H. ; Talanquer, V. Effect of the Level of Inquiry of Lab Experiments on General Chemistry Students' Written Reflections. **Journal of Chemical Education**, 2013, v. 90, n. 1, p. 21–28.

Yang , E.; Andre, T. , Greenbowe, T.J; Tibell, L. Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning Electrochemistry. **International Journal of Science Education**, 2003, v. 25, n.3, p. 329-349.

Yang, S.; Tsai, R. Complexometric Titration of Aluminum and Magnesium Ions in Commercial Antacids. An Experiment for General and Analytical Chemistry Laboratories. **Journal of Chemical Education**, 2006, v. 83, n. 6, p. 906-909.

Yang,D.; Hsu, C.; Huang, M. A study of teaching and learning number sense for sixth grade students in taiwan. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 2004, v. 2, p. 407-430.

Zhao, N.; Wardeska, J.G. Mini-Journal Inquiry Laboratory: A Case Study in a General Chemistry Kinetics Experiment. **Journal of Chemical Education**, 2011, v. 88, n.4, p. 452–456.

Apêndice 1 – Lista de trabalhos levantados que utilizaram questionários pré- e pós-teste

1) questionários pré e pós- teste com questões iguais	Alikj, M. C.; Ayas, A. A.; Coll, R. K. Enhancing pre-service elementary teachers' conceptual understanding of solution chemistry with conceptual change text. International Journal of Science and Mathematics Education , 2007, v. 5, p. 1-28.
	Aydeniz, M.; Pabuccu, A.; Cetin, P.S.; Kaya, E. Argumentation and students' conceptual understanding of properties and behaviors of gases. International Journal of Science and Mathematics Education , 2012, v. 10, p. 1303-1324.
	Bamberger, Y.M.; Davis, E.A. Middle-School Science Students' Scientific Modelling Performances Across Content Areas and Within a Learning Progression. International Journal of Science Education , 2013, v. 35, n. 2, p. 213-238.
	Beerenwinkel, A.; Parchmann, I.; Gräsel, C. Conceptual change texts in chemistry teaching: A study on the particle model of matter. International Journal of Science and Mathematics Education , 2011, n. 9, p.1235- 1259.
	Bilgin, I. Promoting pre-service elementary students' understanding of chemical equilibrium through discussions in small groups. International Journal of Science and Mathematics Education , 2006, v. 4, p.467-484.
	Brandstädter, K.; Harms, U.; Großschedl, J. Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices. International Journal of Science Education , 2012, v. 34, n. 14, p. 2147-2170.
	Budiman, Z.B.; Halim, L.; Meerah, S.M.; Osman, K. The effects of cognitive conflict management on cognitive development and science achievement. International Journal of Science and Mathematics Education , novembro de 2013, Disponível em: http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10763-013-9460-6 . Acessado em dezembro de 2013.
	Campbell, D.T.; Stanley, J.C., Experimental and quasi-experimental designs for research on teaching. In: Gage, N.L. (Ed) Handbook of research on teaching . Chicago: McNally College Publishing Company, 1963.p.171-247.
	Cavallo, A.; McNeely, J.C.; Marek, E.A. Research report. International Journal of Science Education , 2010, v.25, n.5, p.583-603.
	Dass, P.M. Understanding the nature of scientific enterprise (NOSE) through a discourse with its history: the influence of an undergraduate 'history of science' course. International Journal of Science and Mathematics Education , 2005, v. 3, p.87-115.
	Feng, S.; Tuan, H. Using arcs model to promote 11th graders' motivation and achievement in learning about acids and bases. International Journal of Science and Mathematics Education , 2005, v.3, p.463-484.
	Fortus, D.; Krajcik, J.; Dersheimer, R.C.; Marx, R.W.; Mamlok-Naaman, R. Design-based science and real-world problem-solving. International Journal of Science Education , 2005, v.27, n.7, p. 855-879.
	Gerstner, S.; Bogner, F.X. Cognitive Achievement and Motivation in Hands-on and Teacher-Centred Science Classes: Does an additional hands-on consolidation phase (concept mapping) optimise cognitive learning at work stations?. International Journal of Science Education , 2010, v. 32, n. 7, p. 849-870.

Gobert, J.D.; O'Dwyer, L. ; Horwitz, P.; Buckley, B. C.; Levy, S.; Wilensky, U. Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. **International Journal of Science Education**, 2011,v. 33, n. 5, p. 653-684.

Gregorius, R.M.; Santos, R.; Dano, J.B.; Gutierrez, J.J. Can animations effectively substitute for traditional teaching methods? Part I: preparation and testing of

	materials. Chemistry Education Research and Practice , 2010a, v. 11, p. 253 – 261.
	Gregorius,R.M.; Santos, R.; Dano, J.B.; Gutierrez, J.J. Can animations effectively substitute for traditional teaching methods? Part II: Potential for differentiated learning. Chemistry Education Research and Practice , 2010b, v. 11, p. 262–266.
	Hamilton-Ekeke, J. Relative Effectiveness of Expository and Field Trip Methods of Teaching on Students' Achievement in Ecology. International Journal of Science Education , 2007, v. 29, n. 15, p. 1869-1889.
	Hawkins, I.; Phelps, A.J. Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry? Chemistry Education Research and Practice , 2013, 14, 516-523.
	Hilton, A.; Nichols, K. Representational Classroom Practices that Contribute to Students' Conceptual and Representational Understanding of Chemical Bonding. International Journal of Science Education , 2011, v. 33, n.16, p. 2215-2246.
	Howe, C.; Devine, A.; Tavares, J T. Supporting Conceptual Change in School Science: A possible role for tacit understanding. International Journal of Science Education , 2013, v. 35, n. 5, p. 864–883.
	Jennings, K.T.; Epp, E.M.; Weaver, G.C. Use of a multimedia DVD for Physical Chemistry - analysis of its effectiveness for teaching content and applications to current research and its impact on student views of physical chemistry. Chemistry Education Research and Practice , 2007, v.8, n.3, p. 308-326.
	Kaya, E. Argumentation Practices in Classroom: Pre-service teachers' conceptual understanding of chemical equilibrium. International Journal of Science Education , 2013, v. 35, n.7, p. 1139-1158.
	Kurbanoglu, N.I.; Taskesenligil, Y.; Sozbilir, M. Programmed instruction revisited: a study on teaching stereochemistry. Chemistry Education Research and Practice , 2006, v.7, n.1, p. 13-21.
	Martinez-Borreguero, G.; Pérez-Rodríguez, A.L.;Suero-López, M.S.; Pardo-Fernández, P.J. Detection of Misconceptions about Colour and an Experimentally Tested Proposal to Combat them. International Journal of Science Education , 2013, v. 35, n.8, p.1299-1324.
	Morgil, I.; Arda, S.; Seçken, N.; Yavuz, S.; Özyalçın Oskay, O . The influence of computer-assisted education on environmental knowledge and environmental awareness. Chemistry Education: Research and Practice , 2004, v. 5, n. 2, p. 99-110.
	Morgil, I.; Yavuz, S.; Oskay, O.O.; Arda, S. Tradicional and computer-assisted learning in teaching acids and bases. Chemistry Education Research and Practice , 2005, v. 6, n.1, p. 52-63.
	Pilatou, V.; Stavridou, H. Research report. International Journal of Science Education , 2004, v. 26, n.6, p.697-715.
	Scharfenberg, F.; Bogner, F.X. Instructional Efficiency of Changing Cognitive Load in an Out-of-School Laboratory. International Journal of Science Education , 2010, v.32, n.6, p. 829-844.
	Seethaler, S.; Linn, M. Genetically modified food in perspective: an inquiry-based curriculum to help middle school students make sense of tradeoffs. International Journal of Science Education , 2004, v. 26, n.14, p.1765-1785.
	Sturm, H.; Bogner, F.X. Student-oriented versus Teacher-centred: The effect of learning at workstations about birds and bird flight on cognitive achievement and motivation. International Journal of Science Education , 2008, v.30, n.7, p.941-959.
	Su, K. The effects of a chemistry course with integrated information communication

	technologies on university students' learning and attitudes. International Journal of Science and Mathematics Education , 2008, v.6, p. 225-249.
	Supasorn, S.; Suits, J.P.; Jones, L.L.; Vibuljan, S. Impact of a pre-laboratory organic-extraction simulation on comprehension and attitudes of undergraduate chemistry students. Chemistry Education Research and Practice , 2008, v.9, p.169–181.
	Svihla, V.; Linn, M.C. A Design-based Approach to Fostering Understanding of Global Climate Change. International Journal of Science Education , 2012, v. 34, n.5, p. 651-676.
	Treagust, D.F.; Chandrasegaran, A. L.; Zain, A.N.M.; Ong, E.T; Karpudewan, M.; Halim, L. Evaluation of an intervention instructional program to facilitate understanding of basic particle concepts among students enrolled in several levels of study. Chemistry Education Research and Practice , 2011, v. 12, p. 251-261.
	Viiri, J.; Saari, H. Research-based teaching unit on the tides. International Journal of Science Education , 2004, v. 26, n.4, p.463-481.
	Villafañe, S.M.; Loertscher, J.; Minderhout, V.; Lewis, J.E. Uncovering students' incorrect ideas about foundational concepts for biochemistry. Chemistry Education Research and Practice , 2011, v. 12, p. 210–218.
2) questionários pré e pós- teste com questões iguais e entrevistas	Acar, B.; Tarhan, L. Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry. International Journal of Science and Mathematics Education , 2007, v. 5, p. 349-373.
	Ayyildiz, Y.; Tarhan, L. Case study applications in chemistry lesson: gases, liquids, and solids. Education Research and Practice , 2013, v. 14, p. 408-420.
	Bailey, J.M.; Johnson, B.; Prather, E.E.; Slater, T.F. Development and Validation of the Star Properties Concept Inventory, International Journal of Science Education , 2012, v.34, n.14, p. 2257-2286.
	Brown, B.A.; Ryoo, K.; Rodriguez, J. Pathway Towards Fluency: Using 'disaggregate instruction' to promote science literacy. International Journal of Science Education , 2010, v. 32, n.11, p. 1465-1493.
	Çalik, M.; Ayas, A.; Coll, R.K. Investigating the effectiveness of an analogy activity in improving students' conceptual change for solution chemistry concepts. International Journal of Science and Mathematics Education , 2009, v.7, p.651-676.
	Chen, J.; Cowie, B.. Engaging Primary Students in Learning about New Zealand Birds: A socially relevant context. International Journal of Science Education , 2013, v. 35, n.8, p.1344-1366.
	Herbert, S. Collateral Learning in Science: Students' responses to a cross-cultural unit of work. International Journal of Science Education , 2008, v. 30, n. 7, p.979-993.
	Hong, Z.; Lin, H.; Lawrenz, F. Promoting Single-Parent Family Children's Attitudes toward Science and Science Performance through Extracurricular Science Intervention in Taiwan. International Journal of Science Education , 2008, v. 30, n. 4, p. 469-493.
	Özmen, H.; Demircioglu, G.; Coll, R.K. A comparative study of the effects of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students understanding of acid-base chemistry. International Journal of Science and Mathematics Education , 2009, v. 7, p. 1-24.
	Sendur, G.; Toprak, M. The role of conceptual change texts to improve students' understanding of alkenes. Chemistry Education Research and Practice , 2013, v. 14, p.431-449.
	Stavridou, H.; Marinopoulou, S. D. Water and air pollution: primary students' conceptions about "itineraries" and interactions of substances. Chemistry Education: Research and Practice in Europe , 2001, v. 2, n. 1, p. 31-41.
	Tao, P. Developing understanding of image formation by lenses through collaborative learning mediated by multimedia computer-assisted learning programs. International Journal of Science Education , 2004, v. 26, n. 10, p. 1171-1197.
	Wilhelm, J.A.; Smith, W.S.; Walters, K.L.; Sherrod, S.E; Mulholland, J. Engaging

	pre-service teachers in multinational, multi-campus scientific and mathematical inquiry. International Journal of Science and Mathematics Education , 2007, v.6, p. 131-162.
	Yang, D.; Hsu, C.; Huang, M. A study of teaching and learning number sense for sixth grade students in Taiwan. International Journal of Science and Mathematics Education , 2004, v. 2, p. 407-430.
3) questionários pré e pós- teste diferentes	Afra, N.C.; Osta, I.; Zoubeir, W. Students' alternative conceptions about electricity and effect of inquiry-based teaching strategies. International Journal of Science and Mathematics Education , 2009, v. 7, p. 103-132.
	Bragg, L.A. Testing the effectiveness of mathematical games as a pedagogical tool for children's learning. International Journal of Science and Mathematics Education , 2012, v.10, p.1445-1467.
	Cohen, L.; Manion, L.; Morrison, K. Research methods in education . London: Routledge, 2007, 638p.
	Harskamp, E.; Ding, N. Structured Collaboration versus Individual Learning in Solving Physics Problems. International Journal of Science Education , 2006, v. 28, n.14, p. 1669-1688.
	Kaberman, Z.; Dori, Y.J. Question posing, inquiry, and modeling skills of chemistry students in the case-based computerized laboratory environment. International Journal of Science and Mathematics Education , 2009, v. 7, p. 597-625.
	Lubezky, A.; Dori, Y.J.; Zoller, U. Hocs-promoting assessment of students' performance on environment-related undergraduate chemistry. Chemistry education: research and practice , 2004, v. 5, n. 2, p. 175-184.
	Randler, C.; Bogner, F.X. Efficacy of two different instructional methods involving complex ecological content. International Journal of Science and Mathematics Education , 2009, v. 7, p. 315-337.
	She, H. Enhancing eighth grade students' learning of buoyancy: the interaction of teachers' instructional approach and students' learning preference styles. International Journal of Science and Mathematics Education , 2005, v.3, p. 609–624.
	Taylor, A.; Jones, G. Proportional Reasoning Ability and Concepts of Scale: Surface area to volume relationships in science. International Journal of Science Education , 2009, v. 31, n. 9, p. 1231-1247.
	Veermans,K.; van Joolingen, W.; Jong, T. Use of heuristics to facilitate scientific discovery learning in a simulation learning environment in a physics domain. International Journal of Science Education , 2006, v. 28, n. 4, p. 341–36.
	Wong, N.; Lam, C.; Sun, X.; Chan, A.M.Y. From “exploring the middle zone” to “constructing a bridge”: experimenting in the spiral bianshi mathematics curriculum. International Journal of Science and Mathematics Education , 2009, v.7, p.363-382.
	Yang , E.; Andre, T. , Greenbowe, T.J; Tibell, L. Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning Electrochemistry. International Journal of Science Education , 2003, v. 25, n.3, p. 329-349.
4) questionários pré e pós- testes diferentes e entrevistas	Annetta, L.; Mangrum, J.; Holmes, S.; Collazo, K.; Cheng, M. Bridging Realty to Virtual Reality: Investigating gender effect and student engagement on learning through video game play in an elementary school classroom. International Journal of Science Education , 2009, v. 31, n.8, p.1091-1113.
	Banet, E.; Ayuso, G. E. Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. International Journal of Science Education , 2003, v. 25, n.3, p. 373-407.
	Bardini, C.; Pierce, R.U.; Stacey, K. Teaching Linear functions in Context with Graphics Calculators: Students' Responses and the Impact of the Approach on Their

	Use of Algebraic Symbols. International Journal of Science and Mathematics Education , 2004, v.2, p. 353-376.
	Cakmakci, G.; Aydogdu, C. Designing and evaluating an evidence-informed instruction in chemical kinetics. Chemistry Education Research and Practice , 2011, v. 12, p. 15–28.
	Cakmakci, G.; Tosun, O.; Turgut, S.; Orenler, S.; Sengul, K.; Top, G. Promoting an inclusive image of scientists among students: towards research evidence-based practice. International Journal of Science and Mathematics Education , 2011, v. 9, p. 627-655.
	Demircioglu, G.; Ayas, A.; Demircioglu, H. Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. Chemistry Education Research and Practice , 2005, v. 6, n.1, p. 36-51.
	Jaber, L.Z.; Jaoude, S.B. A Macro-Micro-Symbolic Teaching to Promote Relational Understanding of Chemical Reactions. International Journal of Science Education , 2012,v. 34, n. 7, p. 973–998.
	Tosun, C.; Taskesenligil, Y. The effect of problem-based learning on undergraduate students' learning about solutions and their physical properties and scientific processing skills. Chemistry Education Research and Practice , 2013, v. 14, p. 36-50.

Apêndice 2 – Questionário pré e pós-teste.

1. O que está ocorrendo nas situações a seguir?

a) Contato do açúcar com o ácido sulfúrico

b)

c)

d)

2. Como você explicaria os fenômenos abaixo?

Contato de uma solução de nitrato de chumbo com uma solução de cromato de potássio.

Contato de água com óleo

Condutibilidade elétrica de soluções

solução de etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

solução de ácido acético (CH_3COOH)

solução de cloreto de sódio

Queima de compostos de sódio, estrôncio e boro, respectivamente.

3. Quais as semelhanças e diferenças entre as três substâncias a seguir?

diamante

grafita

fulereno

4. Explique por que os espectros de emissão do hidrogênio, do mercúrio e do neônio têm características diferentes.

5. Explique o comportamento do lítio, do sódio e do potássio em contato com a água, ilustrados a seguir.

lítio

sódio

potássio

6. Descreva o que você entende sobre as representações a seguir:

a)

b)

6.1 Agora, indique quais evidências experimentais estão relacionadas a cada um dos três fenômenos que foram representados na questão anterior.

a)

b)

c)

Apêndice 3 – Formulário respondido ao final do pré-teste.

PERFIL

Nome (somente para armazenamento e sistematização de dados, pois este dado é sigiloso):

Idade:

1) Explique por qual razão e quando você escolheu o curso de química como graduação.

2) Em que tipo de escola estudou no Ensino Médio (EM):

- ☐ pública;
- ☐ privada.
- ☐ pública e privada.

2.1) Você fez cursinho?

- ☐ não.
- ☐ sim, _____ meses.

3) Você fez curso técnico?

- ☐ não
- ☐ sim. Qual habilitação? _____.

4) A escola em que você estudou no EM tinha laboratório de Química?

- ☐ sim; ☐ não.

5) Tinha atividades experimentais de Química no EM?

- ☐ apesar de ter laboratório, nunca fiz uma atividade experimental.
- ☐ tinha laboratório, mas as atividades eram feitas em sala de aula.
- ☐ não tinha laboratório e por isso não fiz atividades experimentais.
- ☐ não tinha laboratório, mas mesmo assim fiz atividades experimentais em sala de aula.
- ☐ não existiam atividades experimentais, nem em laboratório, nem em sala de aula.
- ☐ Outra possibilidade: _____.

6) Se você fez atividades experimentais no EM, como funcionava?

- ☐ O(a) Professor(a) fazia os experimentos e eu só olhava.
- ☐ Nós fazíamos o experimento com a supervisão do(a) Professor(a).

7) Se você fez atividades experimentais no EM, qual era a frequência?

- ☐ quando mudava de tópico de química, eram feitas atividades experimentais.
- ☐ tive atividades experimentais somente duas vezes por semestre, aproximadamente.
- ☐ tive atividades experimentais uma vez por semestre, aproximadamente.
- ☐ tive atividades experimentais semanal ou quinzenalmente, aproximadamente.
- ☐ _____) Outra possibilidade: _____.

Apêndice 4 – Roteiro de entrevista com os professores de Química Geral I

Qual é o objetivo da disciplina de Química Geral (QG)? Por que é relevante/importante alcançar esse objetivo? **OU** Qual a importância dessa disciplina para a formação do químico?

Qual é o objetivo da disciplina de Química Geral Experimental (QGexperimental)? Por que é relevante/importante alcançar esse objetivo? Qual a importância dessa disciplina para a formação do químico?

Qual é a relação (vínculo) entre a QG e a QGexperimental?

[Para perguntar dependendo da resposta à questão anterior: Você acha que elas devem continuar como disciplinas separadas, ou poderiam ser “unidas” em uma única disciplina? Quais as vantagens e desvantagens da organização atual (que será implantada pela primeira vez)?]

Qual o objetivo do experimento didático e do experimento na pesquisa química? Quando um experimento didático apresenta um resultado diferente do esperado, qual é o seu posicionamento para o aluno?

Existem várias teorias que podem explicar uma mesma evidência experimental. Por exemplo, várias teorias para o comportamento ácido-base, várias teorias para ligação química, etc. Qual entendimento você gostaria que o aluno tivesse a respeito dessa multiplicidade de teorias para explicar uma mesma evidência?

(Para perguntar dependendo da resposta à questão anterior: Você acha que os alunos estão acostumados a ver a química como uma das “ciências exatas”, em que só há uma resposta para um dado problema? Você acha que isso dificulta a compreensão a respeito da multiplicidade de teorias?)

Apêndice 5 – Resumo do conteúdo ministrado nas 55 aulas gravadas e atividades coletadas.

Disciplina	Resumo da aula	Observações
Química Geral I (QGI) – teoria	Aula 1 - Introdução ao curso teórico – origem dos elementos.	Entrega do termo de consentimento livre e esclarecido
QGI – teoria	Aula 2 – Introdução aos modelos atômicos de Demócrito a Dalton.	Aplicação do pré-teste
QGI – experimental	Introdução ao curso; Noções básicas de segurança; e Experimento 1 – observações sobre uma vela.	Atividade pós-laboratório escaneada
QGI – teoria	Aula 3 – continuação dos modelos atômicos: caracterização de elétrons e prótons.	
Fundamentos de química experimental (FundQExp)	Experimento 1 – Medidas de massa e volume: comparação entre instrumentos de medida de volume; determinação da densidade e da pureza de materiais - Turma A.	
QGI – teoria	Aula 4 – continuação dos modelos atômicos – caracterização dos nêutrons, massa atômica, isótopos e espectrômetro de massas.	
QGI – teoria	Aula 5 – Ondas eletromagnéticas. Demonstração do efeito fotoelétrico.	
QGI – experimental	Experimento 2 – Investigação de um fenômeno (experimento da “garrafa azul”).	
QGI – teoria	Aula 6 – Modelo de Bohr.	
FundQExp	Experimento 1 – Medidas de massa e volume: comparação entre instrumentos de medida de volume; determinação da densidade e da pureza de materiais - Turma B.	
QGI – teoria	Aula 7 – Aula de exercícios.	

QGI – teoria	Aula 8 – Princípios de mecânica quântica: Orbitais.	
QGI – experimental	Experimento 3 - Transformações químicas.	
QGI – teoria	Aula 9 - Orbitais.	
FundQExp	Experimento 2 – Uso da densidade para a determinação de sacarose em um produto comercial – Turma A.	
QGI – teoria	Aula 10 – Átomos multieletrônicos.	Aplicação de questionário processual como exercício em aula.
QGI – teoria	Aula 11 – Carga nuclear efetiva; propriedades periódicas e colóquio do experimento 4.	
QGI – experimental	Experimento 4 – Absorção e emissão de luz.	Atividade pós-laboratório escaneada.
QGI – teoria	Aula 12 – Absorção e emissão de luz (comentário sobre o experimento 4).	
FundQExp	Experimento 2 – Uso da densidade para a determinação de sacarose em um produto comercial – Turma B.	
QGI – teoria	Aula 13 - Ligação covalente.	
QGI – teoria	Aula 14 – Exceções à regra do octeto e colóquio do experimento 5.	
QGI – experimental	Experimento 5 – Espectro atômicos.	Atividade pós-laboratório escaneada; os professores solicitaram que a atividade referente ao experimento 1 fosse refeita.
QGI – teoria	Aula 15 – Carga formal dos átomos nas moléculas; comentário sobre o experimento 5.	
FundQExp	Experimento 3.1 – Preparação e purificação de aspirina – turma A.	
QGI – teoria	Aula 16 – Eletronegatividade e polaridade.	Exercício em aula (escaneado).

QGI – teoria	Aula 17 - Teoria da ligação de valência.	
QGI – experimental	Experimento 6 – Titulação redox.	
QGI – teoria	Aula 18 - Hibridização.	
FundQExp	Experimento 3.1 – Preparação e purificação de aspirina – Turma B.	
QGI – teoria	Aula 19 – Aula de exercícios.	
QGI – experimental	Aula destinada a esclarecer dúvidas trazidas pelos alunos; exibição do episódio 5 da série <i>Cosmos</i> : “Escondido na luz”.	
FundQExp	Experimento 3.2 – Recristalização da acetanilida; Experimento 4 – Decomposição térmica de hidrogenocarbonato de sódio (NaHCO_3) – turma A.	
QGI – teoria	Aula 20 - Revisão sobre ligação covalente; teoria dos orbitais moleculares.	
QGI – teoria	Aula 21 – Teoria dos orbitais moleculares.	
QGI – teoria	Aula 22 – Teoria dos orbitais moleculares e caracteres covalentes e iônicos das substâncias.	
QGI – teoria	Aula 23 – Revisão.	
QGI – experimental	Experimento 7 – Síntese e determinação da composição de oxalato de cobalto hidratado.	
QGI – teoria	Aula 24 – Correção da prova.	
QGI – teoria	Aula 25 – Estrutura eletrônica em sólidos.	
QGI – experimental	Experimento 8 – Sais duplos: comparação macroscópica entre sólidos cristalinos e amorfos, transformação do alumínio em alúmen e crescimento de um cristal de alúmen.	Atividade pós-laboratório escaneada.
QGI – teoria	Aula 26 – Ligação metálica; comentário sobre o experimento 8.	

QGI – teoria	Aula 27 – Forças intermoleculares.	
QGI – teoria	Aula 28 – Forças intermoleculares; comentário sobre os experimentos 3 e 8.	
QGI – teoria	Aula 29 – Forças intermoleculares; resinas, tensão superficial e solubilidade; demonstração do experimento sobre resinas de troca iônica.	
FundQExp	Experimento 3.2 – Recristalização da acetanilida; Experimento 4 – Decomposição térmica de hidrogenocarbonato de sódio (NaHCO_3) – turma B.	
QGI – teoria	Aula 30 – Forças intermoleculares em sistemas biológicos.	
QGI – teoria	Aula 31 – Estrutura dos sólidos.	
QGI – experimental	Experimento 9 – Ligações químicas e forças intermoleculares.	Atividade pós-laboratório escaneada.
QGI – teoria	Aula 32 – Ligação iônica.	
QGI – teoria	Aplicação do questionário processual sobre ligação química.	Não houve gravação de aula.
QGI – teoria	Aula 33 - Complexos.	
QGI – experimental	Exibição do episódio 3 da série <i>Cosmos</i> : “A tabela periódica”; Entrega do roteiro do experimento 10 – Construção de uma tabela periódica alienígena.	
QGI – teoria	Aula 34 – Energia de estabilização do campo cristalino.	
QGI – teoria	Aula 35 – Aula de exercícios.	
QGI – teoria	Aula 36 – Revisão.	Aplicação do pós-teste.