ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA VI

ENSINO DE QUÍMICA

JOÃO JOSÉ CALUZI
MARIA CELINA PIAZZA RECENA
SILVIA REGINA QUIJADAS ARO ZULIANI
(ORG.)

CULTURA ACADÊMICA
Editora

Ensino de Ciências e Matemática VI

Conselho Editorial Acadêmico
Responsável pela publicação desta obra

Prof. Dr. Washington Luiz Pacheco de Carvalho
Prof. Dr. João José Caluzi
Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira
Prof. Dr. Antonio Vicente Marafioti Garnica
Profa. Dra. Luciana Maria Lunardi de Campos
Prof. Dr. Roberto Nardi
Prof. Dr. Osmar Cavassan
Prof. Dr. Nelson Antonio Pirola

JOÃO JOSÉ CALUZI
MARIA CELINA PIAZZA RECENA
SILVIA REGINA Q. ARO ZULIANI
(ORG.)

Ensino de Ciências e Matemática
VI
Ensino de Química

CULTURA
ACADÊMICA
Editora

© 2011 Editora UNESP

Cultura Acadêmica

Praça da Sé, 108
01001-900 – São Paulo – SP
Tel.: (0xx11) 3242-7171
Fax: (0xx11) 3242-7172
www.editoraunesp.com.br
feu@editora.unesp.br

CIP – Brasil. Catalogação na fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

E52

Ensino de ciências e matemática, VI : ensino de química / João José Caluzi, Maria Celina Piazza Recena, Silvia Regina Q. Aro Zuliani (orgs.). – São Paulo : Cultura Acadêmica, 2011.
252p. : il.

Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7983-215-4

1. Ciência – Estudo e ensino. 2. Matemática – Estudo e ensino. 3. Química – Estudo e ensino. 4. Professores de ciência – Formação. 5. Ciência – Estudo e ensino – Filosofia. 6. Ciência – Aspectos sociais. I. Caluzi, João José. II. Recena, Maria Celina Piazza. III. Zuliani, Silvia Regina Q. Aro.

11-7977. CDD: 507
CDU: 5(07)

Este livro é publicado pelo Programa de Publicações Digitais da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)

Asociación de Editoriales Universitarias de América Latina y el Caribe

Associação Brasileira de Editoras Universitárias

Sumário

1 Do clássico ao quântico: pressupostos históricos e filosóficos sobre o Princípio de Incerteza 7
José Bento Suart Júnior
Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani
Marcelo Carbone Carneiro

2 Proposta de integração da Filosofia da Química no currículo e didática da Química 35
Marcos Antonio Pinto Ribeiro
Duarte Costa Pereira
Yefrin Ariza

3 A História da Ciência no ensino de Química: uma leitura kuhniana do conceito de substância 77
Leandro Henrique Wesolowski Tavares
Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani

4 Contribuições da abordagem de questões sociocientíficas à construção de novas compreensões sobre a perspectiva CTSA

por parte de professores de Química em serviço 121
Leonardo Fabio Martínez Pérez
Washington Luiz Pacheco de Carvalho

5 Estudo do termo densidade como obstáculo verbal para compreensão de conceitos em Química 145
Alexandre Geraldo Viana Faria
Maria Celina Piazza Recena

6 Prevenção de acidentes na execução de experimentos de Química no ensino médio – avaliação de riscos pelo método de Árvores de Causas 165
Dario Xavier Pires
Alexandre Faria
Maria Celina Piazza Recena

7 Utilização e avaliação de objetos de aprendizagem por professores de Química do ensino médio 189
Marcelo Maia Cirino
Aguinaldo Robinson de Souza

8 As obras de Química do Programa Nacional do Livro Didático para o ensino médio: uma análise da História da Ciência através do conceito de substância 215
Leandro Henrique Wesolowski Tavares
Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani

1

Do clássico ao quântico: pressupostos históricos e filosóficos sobre o Princípio de Incerteza

José Bento Suart Júnior[1]
Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani[2]
Marcelo Carbone Carneiro[3]

Introdução

A teoria quântica é uma poderosa ferramenta no entendimento das relações energéticas e estruturais quando se trabalha com a natureza microfísica, ainda que trate de partículas de tamanho ínfimo, cujas peculiaridades são diversas e cujo tamanho não permite que o cotidiano apresente os fenômenos envolvidos.

A explicação da natureza aos olhos da Química apropria-se de diversos conceitos e abordagem da teoria quântica, e que em geral

1. Professor assistente-mestre da Universidade Federal do Pampa – Unipampa/Campus Caçapava do Sul.
2. Professora do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e do Departamento de Educação da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Bauru.
3. Professor do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e do Departamento de Ciências Humanas da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Bauru.

fazem parte dos tópicos iniciais em Química que são discutidos no ensino médio ou no ensino universitário.

Alguns conceitos que se pode citar são: ligações químicas, a complexidade no entendimento das funções de onda e, consequentemente, dos orbitais atômicos e moleculares que são responsáveis pela geometria da molécula e suas propriedades químicas e físicas (como exemplo, o benzeno e sua estrutura ressonante, cujas propriedades são incompreensíveis sem a abordagem das ligações π e do espalhamento eletrônico, ou mesmo o íon cianeto e suas propriedades de ligante de campo forte). O que dizer então das estruturas de banda dos semicondutores, e a consequente escolha dos dopantes e as propriedades térmicas, da maleabilidade e da condutividade dos metais?

Os conceitos e propriedades citados se encontram alicerçados em uma noção pouco contemplada dentro do ensino de Química: a ideia de orbital. Compreender um orbital admite que se contemple a estocasticidade presente no comportamento eletrônico, sua dispersão no espaço em função de sua natureza dual. Dessa forma, a discussão evoca conhecimentos próprios da mecânica quântica.

As consequências da adoção de uma estruturação quântica para a Ciência são o abandono da rigidez creditada ao método científico, do dado empírico, e de uma visão determinista de Ciência, tendo em vista o caráter dual do elétron e suas consequências filosóficas, que admite uma natureza contraditória para a matéria (noção de onda e partícula) e permite construir modelos sem correlação direta com os fenômenos observados.

O contexto apresentado é resultado de trabalhos anteriores (Suart Júnior, 2008; Suart Júnior & Zuliani, 2009) nos quais os objetivos eram buscar tais contradições epistêmicas da teoria e suas relações com elementos essenciais pertinentes aos conteúdos de mecânica quântica no entendimento do "mundo" quando se usa a visão da Química.

Os resultados encontrados permitiram esclarecer dúvidas, mas ao mesmo tempo abriram espaço para o aprofundamento em questões mais gerais, e, sobretudo, para reconhecer na História e Filo-

sofia das Ciências um potencial inequívoco para a compreensão das questões inerentes à construção da teoria e conceber possíveis trajetórias para a transposição desses problemas no âmbito do ensino e da aprendizagem.

Novas pesquisas, no entanto, mostram que os elementos conceituais e filosóficos geralmente são pouco considerados nas atividades propostas para o ensino de mecânica quântica.

No presente trabalho procura-se verificar o problema epistêmico reconhecido da história da construção da teoria quântica, e de um elemento que se verifica estar no cerne dos problemas de ensino-aprendizagem dos conceitos relativos ao tema: o método científico.

A dialética do conhecimento científico: causalidade, empirismo e racionalismo

A Ciência moderna é uma elaboração do século XVII em diante e procurou uma nova estruturação para a ciência. Uma das características da ciência é a importância que tem o "método científico" na sua estruturação. Nesse contexto, o empirismo procurou justificar o conhecimento científico como aquele que tem seus fundamentos nos dados observáveis ou na experiência. A ideia de conhecimento científico como expressão da própria realidade é extremamente difundida e suas origens demonstram certa controvérsia.

Ao contrário, a ciência para o racionalismo caracteriza-se como construção do espírito e, portanto, elaboração do pensamento ou do intelecto humano. A experiência é organizada e estruturada pelas formas lógicas da razão.

Na Ciência encontramos duas correntes distintas e conflitantes: o empirismo ou realismo e o racionalismo ou antirrealismo. Dessa forma, é possível pensar a Ciência como expressão da realidade ou construção teórica do pensamento ou razão. Portanto, o conhecimento científico se apresenta historicamente como uma dialética entre o processo indutivo e o processo dedutivo, entre a admissão

de uma realidade objetiva e as limitações do conhecimento produzido a partir do que teoricamente se sabe sobre a natureza.

Esse dualismo (realismo × racionalismo) caracterizou e ainda fundamenta o modo como compreendemos a Ciência e o método científico. Podemos definir, de forma geral, o método como o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimento válido e verdadeiro – traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando nas decisões do cientista.

No século XVIII, a estruturação do método e suas consequências no desenvolvimento científico dão corpo a uma visão determinista do mundo, que teve fortalecimento quando da fundamentação da mecânica newtoniana, já que esta permitia prever estados futuros, ou projetar estados passados de um sistema desde que fossem conhecidas as leis que regem as propriedades desse estado e os valores da posição e energia num dado instante. Podemos associar essa visão a Laplace, que descreveu esse problema em sua obra sobre probabilidades. Em sua definição, supondo uma inteligência suficientemente grande – demônio de Laplace (Silveira, 1993), que conhecesse todas as forças da natureza e o estado em um dado instante de todo os objetos –, nada seria incerto a esta, de tal forma que fica implícito que até mesmo o comportamento humano seria então regido por leis físicas. Essa visão caracterizou a Ciência até a segunda metade do século XIX.

A mecânica de Newton, como as demais estruturas da Física clássica, construídas segundo o modelo daquela mecânica, tem como ponto de partida a hipótese de que se pode descrever o mundo sem fazer qualquer menção a Deus ou a nós mesmos. Essa possibilidade logo pareceu ser uma condição necessária para a Ciência natural em geral (Silveira, 1993).

As questões relativas ao método científico encontram uma estruturação fundamental no positivismo de Augusto Comte. O positivismo define a Ciência como fundamentada na observação, opondo-se ao racionalismo, ao idealismo, à metafísica para tornar-se a única forma de conhecimento verdadeiro.

Não obstante, os estudos relativos à estrutura da matéria, tal como a dualidade partícula-onda, levantaram aspectos contrários dessa descrição física da realidade, mas, ainda assim, verifica-se o desenvolvimento de elaborados aparatos matemáticos antecedidos por postulados que vão ao encontro de uma interpretação sólida da realidade.

Com o estabelecimento da teoria da transformação estatística, o formalismo não relativístico da mecânica quântica estava completo em todos os seus pontos essenciais. Mas um formalismo, ainda que completo e logicamente consistente, não é uma teoria física. Para atingir esse *status*, ou uma correlação epistêmica, alguns dos símbolos devem conter uma interpretação operacional (Jammer, 1966).

No entanto, termos como localização, velocidade e órbita eram importantes na representação do formalismo, ainda que não pudessem ter seus significados clássicos, ou seja, a mecânica quântica começava a operar com uma linguagem própria. Segundo Heisenberg (1987, p.11):

> Não é surpreendente que a nossa língua deva ser incapaz de descrever os processos que ocorrem dentro dos átomos, pois, como já se observou, foi inventada para descrever as experiências da vida diária, e estas são apenas constituídas por processos que envolvem excessivamente grandes números de átomos.

Há uma linguagem matemática e a utilização de termos próprios na construção da ciência, mas que não desconsidera o mundo que procura explicar.

> Quaisquer palavras ou conceitos que foram criados no passado, frutos da interação do homem com o mundo, não são, de fato, precisamente definidos no que se refere a seu sentido; isso quer dizer que não sabemos exatamente quão longe palavras e conceitos nos ajudarão a achar nosso caminho no entendimento do mundo. (Heisenberg, 1987, p.72)

A teoria da mecânica quântica opera um distanciamento da linguagem cotidiana ao mesmo tempo em que estrutura a limitação da descrição física da realidade.

> Aqui não se tem, de começo, nenhum critério simples para se correlacionar os símbolos matemáticos aos conceitos da linguagem quotidiana; e a única coisa que sabemos, como ponto de partida, é que os conceitos comuns não são aplicáveis ao estudo das estruturas atômicas. (Heisenberg, 1987, p.134)

Cabe ressaltar que o Princípio de Incerteza corroboraria as limitações de uma descrição exata da realidade através da Matemática, ao impor limitações na determinação de valores às variáveis físicas. Para Jammer (1966, p.325):

> O formalismo da mecânica quântica, ele fundamentado, que opera em espaços abstratos multidimensionais e emprega quantidades não-comutativas, não admite descrições usuais de espaço-tempo ou conexões causais de fenômenos físicos.

O que se observa é que ele também deteria o cerne do colapso do realismo dogmático, ou ainda da visão determinista laplaciana, da mecânica newtoniana e dos postulados positivistas, no que se refere à sua interpretação metafísica, ao corpo da teoria, de sua interpretação intuitiva ao limitar muito mais que o conhecimento de valores discretos de variáveis, mas colocar em xeque o conhecimento sobre a natureza e a natureza do conhecimento, eixo orientador dos debates travados entre a Escola de Copenhague e os seguidores de Einstein.

Segundo Souza Filho (2009), a teoria de Bachelard é definida como leitura histórica, dialética e racionalista. No contexto da discussão proposta, Bachelard compreende o embate teórico da Física e da Química do século XX e diz:

> Parece-nos mais exato dizer que todo homem, no seu esforço de cultura científica, apoia-se não exatamente numa, e sim em duas metafísicas e que essas metafísicas naturais e convincentes, implícitas e tenazes, são contraditórias. Dando-lhes apressadamente um nome provisório, designemos essas duas atitudes filosóficas fundamentais, tranquilamente associadas no espírito científico moderno, pelas etiquetas clássicas de racionalismo e de realismo. (Bachelard, 2000, p.11)

A Ciência admite pressupostos metafísicos, ou seja, não há a necessidade de se pensar a metafísica separada do conhecimento, divisão proposta pelo positivismo, cuja perspectiva filosófica não compreende o pensamento metafísico. O que seria a grande crítica imposta ao positivismo (a falta da perspectiva metafísica na Ciência, perspectiva fortemente reelaborada pela Ciência do século XX, aspecto que discutiremos a seguir ao abordarmos o desenvolvimento do Princípio de Incerteza) passa a ser um aspecto único na filosofia de Bachelard ao enxergar na Física Matemática da mecânica quântica (por exemplo) um pensamento completo, em que a metafísica é própria e intrínseca:

> Quando se compreendeu quanto o pensamento matemático moderno ultrapassa a ciência primitiva das medidas espaciais, quanto cresceu a ciência das relações, damo-nos conta de que a Física Matemática oferece eixos cada dia mais numerosos à objetivação científica. (Bachelard, 2000, p.142)

Bachelard admite uma dialética que se coloca em relação à construção do conhecimento científico. Em suas palavras (2000, p.12-3):

> Qualquer que seja o ponto de partida da atividade científica, esta atividade não pode convencer plenamente senão deixando o domínio base: *se ela experimenta*, é preciso *raciocinar*; *se ela raciocina*, é preciso *experimentar*. Toda aplicação é transcendência. Na mais simples das diligências científicas, mostraremos que se pode colher

> uma dualidade, uma espécie de polarização epistemológica que tende a classificar a fenomenologia sob a dupla rubrica do pitoresco e compreensível, noutras palavras, sob a dupla etiqueta do realismo e racionalismo. Se soubéssemos, a propósito da psicologia do espírito científico, colocar-nos precisamente na fronteira do conhecimento científico, veríamos que é de uma verdadeira síntese das contradições metafísicas que se ocupa a ciência contemporânea. Todavia o sentido do vetor epistemológico parece-nos bem claro. Ele vai seguramente do racional ao real e de nenhum modo, ao contrário da realidade ao geral como o professavam todos os filósofos, desde Aristóteles até Bacon.

Essa composição parece a Bachelard o cerne da microfísica e caracteriza o eixo orientador do Novo Espírito Científico.

Em muitos trechos de sua obra, Bachelard cita Heisenberg, apontando para as "relações de Incerteza" que para o filósofo trariam um exemplo consistente da dialética ontologia/epistemologia ou realismo/racionalismo admitida por ele como princípio estruturante, como pressupostos metafísicos (não admitidos) do conhecimento científico vigente. Uma análise dos trabalhos de Heisenberg parece apontar para um caminho dialético tal como admitido pelo filósofo francês. Em que contexto surgem as ideias de Heisenberg? Que pressupostos são admitidos por ele?

O desenvolvimento conceitual do Princípio de Incerteza: "crítica dos conceitos físicos da teoria corpuscular da matéria"

Se a teoria quântica admite imagens não usuais que configuram a coexistência do comportamento ondulatório e do comportamento corpuscular além das limitações experimentais, encontra-se no Princípio de Incerteza a dialética desses dois problemas. O que se observará ainda é que seu estudo é de grande importância, pois se o conhecimento científico foi alvo de questionamentos ontológicos e

epistemológicos ao longo da história, no Princípio de Incerteza verifica-se a coexistência de ambas as concepções (ontologia e epistemologia) e suas consequências, enquanto Bachelard encontrará o aspecto central de sua nova filosofia no referido princípio.

O Princípio de Incerteza, ou Indeterminação, tem suas origens na teoria de Dirac-Jordan. Dirac já havia enunciado que na teoria quântica só era possível dar valores numéricos a uma de duas variáveis conjugadas. Heisenberg investigou a relação quantitativa entre os valores teoricamente permitidos, ou seja, a relação estatística entre os valores dessas grandezas.

No entanto, ele se questiona se essa restrição, limitação recíproca da precisão é meramente uma restrição imposta pelo formalismo matemático ou se é reflexo de um estado mais profundo das coisas (Jammer, 1966).

Antes mesmo de iniciar os estudos que o levariam à carreira de físico, Werner Heisenberg já demonstrara um especial caráter filosófico e um grande interesse pela natureza do conhecimento com relação às entidades atômicas. Tais questões eram geralmente abordadas em suas caminhadas pelas montanhas em acampamentos organizados com amigos (Heisenberg, 1996).

Em suas próprias palavras:

> Numa luminosa manhã de primavera, uns dez a vinte de nós, a maioria mais jovem que eu, partimos numa caminhada que, se bem me lembro, nos levou pelas montanhas que se elevam na margem ocidental do lago Starnberg. Pelas frestas na densa tela esmeralda de faias tínhamos vislumbres ocasionais do lago lá embaixo e das altas montanhas ao longe. Tive ali minha primeira conversa sobre o mundo dos átomos, que seria de grande importância para o meu desenvolvimento científico posterior. (Heisenberg, 1996, p.9)

Mas foi durante discussões com Bohr com relação à natureza da nova teoria que Heisenberg encontrou uma saída filosófica para a ambiguidade epistêmica, para o desafio filosófico imposto pela teoria quântica:

> A solução final foi abordada de duas maneiras diferentes. Uma delas foi uma reviravolta da questão. Ao invés de perguntar: como se pode demonstrar, no esquema matemático conhecido, uma dada situação experimental? Uma outra pergunta era feita: seria verdade dizer-se que ocorrem na natureza somente aquelas situações experimentais que podem ser demonstradas pelo formalismo matemático? A hipótese de que isso fosse realmente verdade, deu lugar a limitações no uso de conceitos que tinham sido, desde Newton, básicos na Física clássica. Da mesma maneira que na mecânica newtoniana, nada impede que se fale em posição e velocidade do elétron e, além disso, pode-se observar a medir essas grandezas. Mas, contrariamente ao que ocorre na mecânica de Newton, não se pode medir simultaneamente aquelas grandezas com alta precisão arbitrariamente. De fato, o produto das duas imprecisões, em suas medidas, resultou não ser menor que a constante de Planck dividida pela massa da partícula. Relações análogas foram igualmente formuladas para outras situações experimentais. Todas elas são usualmente chamadas de *relações de incerteza*, diferentes instâncias do *Princípio de Indeterminação*. E, assim, aprendeu-se que os velhos conceitos não se adequam à natureza de maneira exata. (Heisenberg, 1987, p.37)

Na procura por um entendimento intuitivo das relações matemáticas encontradas observam-se duas interpretações com naturezas e consequências filosóficas distintas para o Princípio de Incerteza. Historicamente, estas diferem no tempo, mas podem ser encontradas em *The physical principles of quantum theory* fazendo parte de um mesmo corpo de texto ao qual Heisenberg dá o nome de crítica dos conceitos físicos da teoria corpuscular da matéria.

Para compreendermos as limitações e consequências de cada modelo precisamos antes compreender a diferenciação entre ontologia e epistemologia, o que faremos utilizando o conceito em discussão, o qual é referido ora como incerteza ora como indeterminação. Certeza ou incerteza é uma propriedade do nosso conhecimento sobre as coisas, uma propriedade epistemológica. Determinismo ou indetermi-

nismo é uma propriedade do mundo das coisas, uma propriedade ontológica (Silveira, 1993).

		Conhecimento	
Natureza		Certo	Incerto
	Determinada		
	Indeterminada		

Figura 1 – Esquema ontologia × epistemologia

Quando observamos a construção da Ciência de seu ponto de vista filosófico verificamos então o embate ao qual a Ciência se submete a partir da formulação da teoria quântica, sendo este relativo exatamente à natureza desconhecida da matéria (ontologia), contra as limitações do conhecimento humano acerca dela (epistemologia), cujo centro se encontra nos reflexos da enunciação do Princípio de Incerteza.

Bachelard admite que as metafísicas (para ele pressupostos teóricos das teorias) implícitas que antes eram contraditórias, designadas de racionalismo e realismo, encontram-se "tranquilamente associadas" no espírito moderno. Para ele, a Ciência, produto do espírito humano, admite dois aspectos, um subjetivo e outro objetivo, ambos igualmente necessários, que agora se coordenam em uma dialética característica do "Novo Espírito Científico". Segundo Lobo (2008, p.91),

> Ao defender uma síntese da teoria com a experiência, nas ciências físicas, Bachelard propõe uma filosofia em que o *racionalismo aplicado* e o *materialismo técnico* se manifestem, num movimento dialético que represente o verdadeiro pensamento científico.

Como exposto anteriormente, Heisenberg questiona se a Incerteza seria uma consequência matemática ou se seria possível uma interpretação intuitiva. Chibeni (2005) ressalta a coexistência de três interpretações possíveis para as relações, sendo uma pura-

mente matemática (ponto de partida para o questionamento intuitivo, como observado antes) e duas interpretações de origens "intuitivas" distintas com consequências diferentes. Historicamente, elas se apresentam em momentos distintos, mas estão presentes em *The physical principles of quantum theory*. Nesse texto encontram-se as interpretações dentro de um esquema de crítica dialética. Heisenberg iniciará com uma crítica à visão corpuscular da matéria, apresentando posteriormente uma visão ondulatória que também é criticada, culminando então nas relações intrínsecas da Matemática.

Para Bachelard, que por muitas vezes cita Heisenberg em seus trabalhos, justificando a necessidade de um "novo espírito", essa crítica ambígua revela a dialética desse novo espírito:

> Com muita justiça, Heisenberg dá a suas críticas um aspecto pedagógico que expõe a necessidade da dupla experiência. Em seus *Principes physiques de la theorie des quanta*, após uma curta introdução desenvolve dois capítulos curiosamente antagonistas. [...] Na verdade, essa crítica dialética é uma excelente lição de filosofia fenomenista. (2000, p.79-80)

O caráter dual do elétron é uma das grandes questões da mecânica quântica. Nele estaria o cerne do "quantum de ação", e, partindo-se daqui, inicia-se uma gigantesca ruptura com os conceitos clássicos, os quais estão fortemente sedimentados.

Classicamente, uma partícula pode ser concebida como uma bola muito pequena, a qual possui trajetória bem definida (Pessoa Júnior, 2005). Uma onda é definida como uma excitação que se propaga através de forma dispersa do espaço, carregando energia, como se observa ao visualizar as ondas criadas por uma pedra atirada em um lago. Além de serem contínuas e se dispersarem, ao se encontrarem, ondas clássicas não interagem como partículas, exibindo fenômenos típicos conhecidos como interferências.

Como compreender a simultaneidade dessas duas definições ao supor-se que o elétron possui caráter dual, ou seja, comportando-se

como onda e partícula? Afinal, seria o mesmo que admitir que este seja contínuo e descontínuo, que possua trajetória e que esteja disperso no espaço. Segundo Johnston et al. (1998), a dificuldade de compreensão por parte dos alunos se deve às imagens preconcebidas desses dois conceitos:

> Tudo isso traz grandes implicações na aprendizagem da mecânica quântica para alunos. Todos os modelos mentais com os quais eles já trabalharam antes, onda ou partícula, são modelos pictóricos. (p.431, tradução nossa)

A discussão proposta por Heisenberg (1949) se inicia com um chamado às relações de incerteza a partir da visão corpuscular. Nesse ponto é colocada a limitação das imagens concebidas para os conceitos evocados pela mecânica quântica, os quais fazem parte da realidade comum:

> Os conceitos de velocidade, energia, etc., têm sido desenvolvidos de simples experimentos com objetos comuns, nos quais o comportamento mecânico dos corpos macroscópicos pode ser descrito por algumas palavras. Estes mesmos conceitos têm sido trazidos para o elétron, desde que em certos experimentos fundamentais elétrons têm mostrado comportamento mecânico semelhante a objetos de experimentos comuns.
>
> [...] Esta similaridade existe em alguns casos especiais, nos quais a teoria corpuscular deve ser limitada. Segundo Bohr, esta restrição pode ser deduzida do princípio de que na física atômica pode-se enxergar em termos de partícula ou onda equivalentemente. (Heisenberg, 1949, p.13)

Bachelard, em *O novo espírito científico*, explorará a explicação dada por Heisenberg atribuindo limitações ontológicas a uma visão corpuscular advindas de uma interpretação ondulatória quando se contempla a noção de pacote de onda. As limitações são então justificadas pela via epistêmica ao se compreender, segundo ele, os

problemas de medida relativos ao mundo microscópico. Essa oscilação entre ontologia e epistemologia é recorrente na visão bachelardiana, na qual o conhecimento é fruto da dialética entre esses dois aspectos, no entanto, verificaremos a seguir que cada uma dessas posições implica consequências à interpretação da natureza.

Numa primeira abordagem, então, a incerteza é colocada como uma característica essencial advinda das consequências da adoção de uma formulação ondulatória para a descrição do elétron. Nessa formulação, podemos descrever o comportamento de um elétron através de uma onda, consequentemente, um pacote de onda também é solução para esse problema. Segundo Heisenberg (1949, p.14),

> A velocidade do elétron corresponde à do pacote de onda, mas esta não pode ser exatamente definida, devido à difusão ocorrida no espaço. Essa indeterminação deve ser considerada como uma característica essencial do elétron, e não uma evidência da inaplicabilidade da visão ondulatória.

Um pacote de onda pode ser obtido através da superposição de ondas planas sinusoidais de comprimento de onda distribuídos em uma determinada faixa (Cohen-Tannoudji et al., 1977).

Esse é um problema que pode ser tratado em parte através do formalismo clássico. Extrai-se aqui o desenvolvimento apresentado por Cohen-Tannoudji et al. (1977). Associando-se uma onda de frequência $\omega = 2\nu\pi$ e vetor de onda k a uma partícula com energia E e momento p, temos as mesmas relações que para um fóton

$$E = h\nu = \hbar\omega \qquad (1)$$

e

$$p = \hbar k \tag{2}$$

Dessa forma, tem-se que:

$$\lambda = \frac{2\pi}{|k|} = \frac{h}{|p|} \quad \text{(a relação de De Broglie)} \tag{3}$$

Considerando-se agora uma partícula livre, quando o potencial é zero, a equação de Schroedinger se torna:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r}, t) = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi(\vec{r}, t) \tag{4}$$

A seguinte solução satisfaz a equação:

$$\Psi(\vec{r}, t) = Ae^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)} \tag{5}$$

Uma onda plana desse tipo representa uma partícula com probabilidades iguais de posição para todo o espaço, ou seja, encontra-se deslocalizada. O princípio de superposição de estados garante que toda combinação linear de ondas planas também é uma solução da equação. Dessa forma, uma superposição pode ser escrita assim:

$$\Psi(\vec{r}, t) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \int g(k) e^{i[\vec{k}.\vec{r} - \omega(k)t]} d^3k \tag{6}$$

Tomando-se a função que representa a superposição para uma dimensão espacial no tempo zero (origem), a função de onda pode ser escrita como:

$$\Psi(x,0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int g(k) e^{ikx} dx \qquad (7)$$

Consequentemente, se o potencial $V(x,0)$ puder ser escrito desta forma, então a validade não se dá apenas para uma partícula livre. A partir desse formalismo, verifica-se agora o que ocorre ao somarmos ondas planas. Tomadas três ondas planas (um caso mais simples do que a soma de infinitas ondas), seus vetores de onda serão k0, k0 – (Δk/2) e k0 + (Δk/2) e suas amplitudes serão proporcionais, sendo respectivamente, 1, ½ e ½. Dessa forma:

$$\Psi(x) = \frac{g(k_0)}{\sqrt{2\pi}} \left[e^{ik_0 x} + \frac{1}{2} e^{i\left(k_0 - \frac{\Delta k}{2}\right)x} + \frac{1}{2} e^{i\left(k_0 + \frac{\Delta k}{2}\right)x} \right] \qquad (8)$$

Nesse caso, a função tem seu máximo na origem, quando as ondas estão em fase e há interferência construtiva. Ao mover-se no eixo *x*, a função decresce, pois as ondas estão cada vez mais em oposição de fase, conforme figura a seguir:

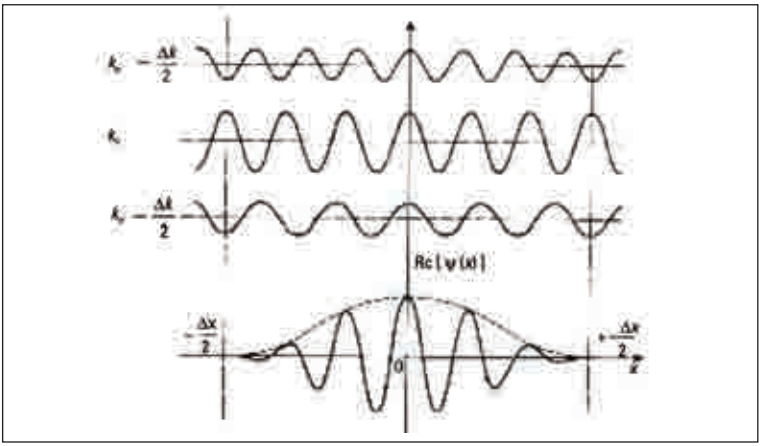

Figura 2 – Superposição de ondas planas

Fonte: Cohen-Tannoudji, Diu & Laloe (1977, p.24).

A soma de mais ondas com vetores de onda distribuídos num dado intervalo gera um pico, o que pode ser interpretado como uma singularidade, ou seja, um pacote de onda cuja posição se torna conhecida, a onda está localizada e não mais espalhada pelo espaço. Todavia, o aumento da precisão na posição acaba por afetar o conhecimento do momento, advindo do vetor de onda k conforme demonstração anterior.

Ou seja, o tratamento matemático clássico demonstra de forma clara a ocorrência do Princípio de Incerteza também quando se trata de ondas planas. Porém, o ponto de partida desse desenvolvimento é a associação a uma partícula desse pacote de ondas, de onde decorre a interpretação quântica do fenômeno.

> Essa relação de incerteza especifica os limites com os quais a visão corpuscular pode ser aplicada. Qualquer uso das palavras "posição" e "velocidade" com precisão maior que a dada pela equação (1) é tão inútil como o uso de palavras cujo sentido não é definido. (Heisenberg, 1949, p.15)

Chibeni (2005) define essa versão como ontológica, pois "ela diria respeito a uma indeterminação intrínseca aos entes físicos" (p.183). Ou seja, aqui a natureza é indeterminada, o que consequentemente gera incerteza nos dados obtidos através da experimentação. Mas Chibeni enfatiza que os fenômenos, ainda que verifiquem o aspecto ondulatório da matéria, o que justifica a abordagem, coexistem com outros que sugerem a natureza corpuscular dos entes quânticos (fato, estar contido em uma crítica à visão corpuscular da matéria).

O principal argumento que solucionaria esse problema, ou seja, enxergar a matéria como pacotes de onda que quando concentrados formam singularidades, não está contido no formalismo de Schroedinger, estando o mesmo formulado em três dimensões apenas para um elétron. O que significa uma realidade além de três dimensões? O conflito em questão ainda recai sobre o "problema da medida" ou, mais geralmente, no "colapso da função de onda" não citado no escopo deste trabalho.

Outro problema pode ser percebido quando consideramos ainda a visão de Ciência abordada pelo positivismo. Segundo Comte, a Ciência deveria ocupar-se exclusivamente com a *"descoberta de leis descritivas dos fenômenos, devendo, ao mesmo tempo, renunciar prudentemente a qualquer tentativa de descrever causas eficientes ou 'modos de produção'"* (Laudan, 2000, p.52). Defendendo uma Ciência empirista, o positivismo então desliga a Ciência de suas questões "existenciais", definindo-as como metafísica, as quais não fazem parte desta "Ciência Instrumentalista".

Segundo Pessoa Júnior (2005, p.102),

> [...] o *positivismo* não envolve apenas uma tese única, mas consiste de quatro afirmações principais: (*i*) Descritivismo: só faz sentido atribuir realidade ao que for possível descrever, observar. (*ii*) Demarcação: teses científicas são claramente distinguidas de teses metafísicas e religiosas, por se basearem em "dados positivos" (são verificáveis). (*iii*) Neutralidade: o conhecimento científico deve ser separado de questões de aplicação e de valores. (*iv*) Unidade da ciência: todas as ciências têm um método único, baseado no empirismo e na indução.

Cabe aqui colocar que a ontologia no pensamento filosófico positivista é experimentalmente inquestionável, o que a inclui no domínio da metafísica. Desse modo, o Princípio de Incerteza seria de domínio metafísico. As consequências filosóficas da mecânica quântica são evidentes. Einstein e Bohr travaram grandes discussões acerca do assunto, que culminaram no problema EPR, na teoria das variáveis ocultas de Bohr e nas Desigualdades de Bell, como citado. Ainda que as discussões tenham culminado em uma outra abordagem da teoria quântica, a principal questão centrava-se no Princípio de Incerteza, inadmissível a Einstein.

Admitir que seja fisicamente impossível conhecer um sistema em sua totalidade com exatidão acaba por contrapor a Ciência à sua principal busca *a priori*, fruto do pensamento realista dogmático, uma teoria geral determinística, capaz de prever a natureza,

como proposto por Laplace, até mesmo para o comportamento humano.

Num segundo momento, na seção intitulada "Ilustração das relações de incerteza", encontra-se a evolução das relações de incerteza partindo de outro pressuposto, cujas consequências recairão sobre preceitos epistemológicos, como veremos.

A discussão parte supondo-se um elétron livre cuja velocidade seja conhecida, mas cuja posição seja completamente desconhecida. Como consequência da mensuração da posição, obter-se-ia uma alteração do momento tal que o conhecimento sobre movimento do elétron estaria restrito às relações de incerteza. Segundo Heisenberg (1949, p.20), "isto pode ser expresso em termos concisos e gerais dizendo-se que todo experimento destrói algum conhecimento do sistema do qual este foi obtido por um experimento anterior".

Diversos exemplos de experimentos que destruiriam informações sobre o sistema estão contidos no corpo do texto, contudo nos ateremos ao primeiro exemplo, o qual, historicamente, é anterior ao ontológico. O experimento apresentado é o da medição da posição de um elétron através de um microscópio de raios gama. (Figura 3.)

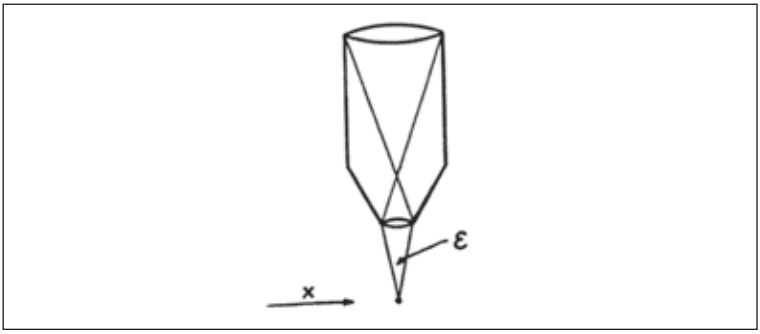

Figura 3 – Experimento do microscópio de raios gama

Fonte: Heisenberg (1949, p.21).

Nesse experimento, a posição do elétron deve ser determinada. Para tanto, é necessário iluminá-lo. Porém, a precisão da medida depende do comprimento de onda.

De acordo com as leis ópticas, o espalhamento do raio gama em questão é dotado de imprecisão dada por:

$$\partial x = \frac{\lambda}{sen\varepsilon} \tag{9}$$

na qual, ∂x é a imprecisão da medida, λ o comprimento de onda e ε é o ângulo de possível espalhamento dentro da captura do microscópio, sofrido pelo feixe.

Ao ser espalhado, o fóton confere um momento da ordem de h/ν. A direção do fóton fica indeterminada dentro do ângulo de espalhamento, o que provoca incerteza no momento:

$$\partial p_x = \frac{h}{\lambda} sen\varepsilon \tag{10}$$

Demonstrando Heisenberg que após o experimento

$$\partial x \partial p_x \approx h \tag{11}$$

Nessa versão, as relações de Heisenberg não expressariam uma característica física dos objetos,"[...] mas uma característica de nosso conhecimento acerca dos objetos, já que outros fatos ligados às situações experimentais contribuiriam para esta incerteza" (Chibeni, 2005, p.184). Segundo ele,

> [...] o que Heisenberg faz é evocar os alegados limites do nosso conhecimento possível dos valores precisos simultâneos de pares de

> grandezas conjugadas para justificar a falta desses valores no formalismo quântico [...] bem como, em um nível mais físico e intuitivo, a coexistência dos aspectos corpuscular e ondulatório dos objetos quânticos. (Idem, p.185)

Nesse caso, encontramos uma natureza determinada, no entanto, o conhecimento sobre os dados é incerto, devido à influência do experimento na medida.

A presente versão permite uma série de críticas de acordo com Chibeni. Defende-se aqui uma generalização de um princípio físico através de uma situação experimental particular. As generalizações empíricas tornam-se aceitáveis quando compreendem casos semelhantes. Falta ainda um suporte teórico consistente para essa defesa e generalização, o "quantum de ação".

Sendo esse um experimento de pensamento (*gedank-experiment*), Popper defende que os experimentos de pensamento são válidos para criticar teorias, ao construir conjecturas ousadas que possam questionar os princípios de validade de um dado conhecimento, mas não em suas defesas, já que o conhecimento defendido deve se validar dentro de sua própria conjectura (Chibeni, 2005). O autor ainda ressalta uma grave falha conceitual nessa versão: o aparato experimental não assume a impossibilidade de mensuração simultânea dos pares de grandezas conjugadas.

Heisenberg apresenta ainda sua crítica à visão ondulatória da matéria baseando-se em elementos corpusculares e que levará novamente às relações de incerteza. O chamado à crítica se dá da mesma forma que o exposto anteriormente para a visão corpuscular:

> Os conceitos de amplitude de onda, campo elétrico e magnético, densidade de energia, etc., são originalmente derivados de experiências primitivas da vida cotidiana, tais como a observação de ondas em água ou as vibrações de corpos elásticos. (Heisenberg, 1949, p.48)

O problema encontrado por Heisenberg em uma visão ondulatória é que os limites de uma visão corpuscular em detrimento do tamanho ínfimo das partículas impõem limites ao tratamento ondulatório ao destruir a informação sobre os sistemas quando tratados em função de propriedades ondulatórias, já que estas se encontram deslocalizadas no espaço, elemento fundamental de sua natureza. Bachelard assim o coloca:

> [...] assim como a posição de um elétron é impossível de precisar, o conhecimento exato das amplitudes em cada ponto de uma região ocupada por uma onda é manifestamente impossível. Toda experiência de medida não pode fornecer mais que o valor médio da amplitude numa região do espaço num intervalo de tempo que não podem ser reduzidos a um ponto e a um instante. Noutras palavras, a onda não se deixa concretizar em torno de um ponto material, que tornaria assim o suporte do movimento vibratório aceitando o ponto material como uma raiz correta e real dos fenômenos. (2000, p.39)

Dentro de sua perspectiva positiva com relação à mecânica quântica, Bachelard não observa o desafio onto-epistêmico que se torna o Princípio de Incerteza ao abarcar uma dupla interpretação com vieses filosóficos distintos. É interessante perceber que, para Bachelard, a coexistência de duas visões distintas, epistemológica e ontológica, pode ser dialetizada num todo coerente que justificará as relações de incerteza:

> Todas as imagens da mecânica do ponto atrapalham-se umas às outras: já que não se pode mais reconhecer o corpúsculo, não se pode mais reencontrá-lo, não se pode mais segui-lo pelo rasto. Ele já não deixa, portanto, mais rasto. Seu movimento não se traduz propriamente falando, sobre uma trajetória. Sua matéria escapa totalmente ao princípio de identidade, ao princípio de conservação mais fundamental. Considerando como soma dos fenômenos vibratórios, é antes reconstituído que conservado. Finalmente, deve-se recusar ao corpúsculo a atribuição direta das qualidades para

> fazer passar por conta da construção indireta a conquista mais ou menos durável dos atributos.
>
> Tornar indireto o que era direto, encontrar o mediato no imediato, o complexo no simples, eis a medida exata da revolução do empirismo produzida pela mecânica ondulatória. Do ponto de vista psicológico, vemos que as novas doutrinas nos ensinam a desaprender, nos solicitam, se podemos dizer, de desintuicionar uma intuição por outra, de romper com as análises primeiras para pensar o fenômeno ao termo de uma composição. (Bachelard, 2000, p.81)

Essa dialética encontra-se, segundo Bachelard, essencialmente na composição das perspectivas ondulatória e corpuscular. As imagens, segundo ele, são claras somente se forem analisadas particularmente, e uma concepção da composição só pode ser adquirida através da associação matemática, revelando mais uma vez o otimismo do filósofo francês com relação à Física Matemática e ao pensamento metafísico admitido por esta. Segundo ele:

> Tudo o que se pode dizer, é que esta associação não é causal, nem substantiva. O corpúsculo e a onda não são coisas ligadas por mecanismos. Sua associação é de ordem matemática; deve-se compreendê-los como momentos diferentes de matematização da experiência. (Bachelard, 2000, p.87)

Uma versão estritamente estatística também é encontrada nas produções de Heisenberg, a qual suscita críticas por uma via metafísica de análise. Observa-se que essa visão é pertinente e, muitas vezes, admitida pelo corpo de cientistas, já que recorre à mecânica quântica como mero formalismo matemático, anulando uma possível discussão acerca da natureza da Ciência, posição clara no formalismo de Dirac. Ressalta-se ainda que essa versão das relações de incerteza não possui a completude filosófica admitida por Bachelard com relação à Física Matemática.

Ainda dentro do corpo de texto mencionado anteriormente, Heisenberg aponta para uma versão das relações de incerteza que

pode ser deduzida sem o uso explícito de uma visão ondulatória, obtida do esquema matemático da teoria quântica e de sua interpretação.

A presente visão é historicamente posterior às duas antevistas. Em seus artigos, Heisenberg faz uso do termo "desvio padrão", que é uma noção estatística. Desvio padrão é uma quantidade estabelecida quando se trata um conjunto de dados (Chibeni, 2005). Isso leva à interpretação estatística da função de onda, proposta por Max Born, em que a probabilidade de se encontrar uma partícula quântica é dada pelo módulo quadrado da função de onda. Para Chibeni (2005, p.185), "a interpretação remete naturalmente a uma situação em que se considera não um objeto individual, mas um conjunto, ou 'ensemble', de objetos preparados num mesmo estado quântico".

Dessa forma, a incerteza é "um limite mínimo para a dispersão estatística nos resultados de medida de grandezas conjugadas", a qual se deve "a uma dispersão mínima ineliminável, radicada na teoria quântica" (Idem, p.186).

É interessante perceber que Schroedinger demonstra que a incerteza, tomada nessa concepção, é parte integrante das equações para dois operadores autoadjuntos:

$$\left(\Delta A\right)^2 \left(\Delta B\right)^2 \geq \left| < \frac{1}{2}\left(AB - BA\right) > \right|^2 + \left(\frac{1}{2} < AB + BA > - < A >< B > \right)^2 \tag{12}$$

Nesse caso, o comutador "AB – BA" é $ih/2\pi$ enquanto, para estados como o estudado por Heisenberg, o último termo quadrático é zero, gerando a versão estatística da relação do Princípio de Incerteza:

$$\Delta A \Delta B \geq \frac{h}{4\pi} \tag{13}$$

Chibeni (2005, p.187) aponta que "a relação estatística e sua demonstração independem completamente não apenas de qualquer hipótese acerca da natureza do objeto quântico, como também acerca de eventuais limitações de nosso conhecimento a seu respeito".

Ainda que defendida, justificada pela validade empírica dos meios estatísticos, a presente interpretação não finaliza os debates quanto à natureza da teoria. Haja vista que, como já mencionado, a comunidade científica se dividiu em duas vertentes da teoria, considerando uma delas que a teoria estaria incompleta, enquanto o "quantum de ação" justificaria toda a natureza peculiar do tratamento matemático e suas consequências. Contudo, como já dito anteriormente, uma teoria exclusivamente matemática não é uma teoria completa sem um sentido físico.

Para qualquer uma das três possíveis interpretações é importante perceber que a limitação do conhecimento científico acerca da natureza existe, e que remete ainda a um problema recorrente na Filosofia da Ciência, o trinoma, ontologia-epistemologia-formalismo matemático. Reconhecer essa limitação é parte integrante da noção de Ciência que se espera fora de uma visão positivista, ou seja, de uma Ciência normativa, dura e acabada, fruto exclusivamente da produção empírica do conhecimento. As relações de incerteza ainda exprimem os problemas oriundos das relações entre o mundo real, observável e o mundo científico, já que aqui se revelam as limitações das concepções acerca de "onda" e "corpúsculo", advindas do mundo real, quando utilizadas na interpretação da natureza nos limites da estrutura da matéria.

Conclusões

Olhar para o contexto das produções em Ensino de Ciências ao mesmo tempo em que se olha os problemas epistêmicos da mecânica quântica justifica os problemas encontrados no ensino para a abordagem do tema.

Assumir a perspectiva histórica se mostra um viés interessante e rico dentro desse panorama, já que identifica problemas epistêmicos e orienta a busca pelos obstáculos para compreender os conceitos. Tais obstáculos se apresentam no caminho histórico realizado dentro da história do método científico e da estrutura epistemológica da Ciência e da teoria quântica. O que se encontra é uma dicotomia entre duas posições antagônicas que conviveram no interior da história do conhecimento científico desde as sociedades clássicas: a ontologia e a epistemologia, o realismo e o racionalismo.

À luz da teoria bachelardiana, é possível reconhecer a dialética presente na Filosofia da Ciência e verificar ainda a existência de tal discussão em um dos cernes da teoria quântica, o Princípio de Incerteza, o qual admite uma tripla interpretação proposta pelo próprio Heisenberg. Ainda que submetida a críticas, Bachelard irá defender a dialética do conhecimento científico, em consonância com a Matemática, agora com *status* realizante.

Tal olhar implica a seguinte postura: os conceitos quânticos e seus aparatos matemáticos somente fazem sentido dentro de uma análise filosófica, que possibilita pensar os pressupostos ontológicos e epistemológicos da Ciência e a dialética do conhecimento.

Referências bibliográficas

BACHELARD, G. *O novo espírito científico*. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2000.

CHIBENI, S. S. Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg. *Rev. Bras. de Ens. de Fís.*, v.27, n.2, p.181-92, 2005.

COHEN-TANNOUDJI C., DIU, B., LALOE, F. *Quantum mechanics.* v.1. Nova York: John Wiley, 1977.

HEISENBERG, W. *The physical principles of the quantum theory*. Nova York: Dover, 1949.

_____. *Física e filosofia*. 2.ed. Brasília: Editora da UnB, 1987.

_____. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

HEISENBERG, W., JAMMER, M. *The conceptual development of quantum mechanics*. Nova York: McGraw-Hill, 1966.

LOBO, S. F. O ensino de Química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. *Ciência & Educação*, v.14, n.1, p.89-100, 2008.

PESSOA JÚNIOR, O. *Conceitos de Física Quântica*. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

SILVEIRA, F. L. Determinismo, previsibilidade e caos. *Cad. Cat. Ens. Fís.*, v.10, n.2, p.137-47, 1993.

SOUZA FILHO, M. P. de. *O erro em sala de aula*: subsídios para o ensino do eletromagnetismo. São Paulo, 2009. 230f. Tese (doutorado em Ensino para a Ciência) – Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista/Bauru.

SUART JÚNIOR, J. B. *O modelo atômico probabilístico*: um panorama da essência à transposição didática na Química. São Paulo, 2008. 60f. Monografia (graduação em Química) – Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista/Bauru.

_____, ZULIANI, Sílvia Regina Q. A. Reflexões acerca da transposição didática de conceitos de mecânica quântica no ensino de Química: entraves e perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, v.extra, p.899-904, 2009.

2

Proposta de integração da Filosofia da Química no currículo e didática da Química[1]

Marcos Antonio Pinto Ribeiro[2]
Duarte Costa Pereira[3]
Yefrin Ariza[4]

Introdução

Na interface entre currículo, Filosofia e Química, situam-se relações surpreendentemente pouco investigadas no contexto pedagógico da Química que procuramos caracterizar através da análise temática da produção da Filosofia da Química, disciplina emergente na Filosofia da Ciência, identificando princípios e temas característicos do modo de pensar, operar e comunicar da práxis Química, transversais à História, à epistemologia e ao ensino desta, que pudessem servir de fundamento para um planejamento do aparelho pedagógico da Química.

---

1. Este trabalho é parte da tese de doutoramento do primeiro autor.
2. Professor assistente do Departamento de Química e Ciências Exatas – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Doutorando da Universidade de Lisboa. *e-mail*: marcolimite@yahoo.com.br.
3. Professor do Departamento de Química e Bioquímica da Universidade do Porto/Portugal.
4. Doutorando na Universidade de Buenos Aires.

Buscamos então, num primeiro momento, identificar campos de problemas a que a Filosofia da Química tem dedicado maior atenção e que podem ajudar a pensar tanto o currículo como a didática da Química. São ainda muito poucas essas aproximações (Erduran, 2001) e estamos cientes da sua provisoriedade, devido principalmente a algumas dificuldades, como: o pouco distanciamento temporal; a falta de quadros analíticos; a falta de estabilização de conteúdos, temas e problemas; e o fato de as principais aproximações terem sido realizadas pela epistemologia tradicional, como adiante veremos.

Entretanto, entendemos que, mesmo se ainda difícil, essa aproximação é necessária, o que se evidencia pela vasta literatura dedicada aos problemas do ensino, currículo e formação de professores em Química, nomeadamente: a indefinição do caráter (nomotético ou ideográfico) da Química (Lamza, 2010);[5] o currículo oculto, disciplinar e enquadrado dessa disciplina (Chamizzo, 2010); os obstáculos ontológicos, epistemológicos e metodológicos do seu ensino, nomeadamente a ambiguidade de sua base ontológica consistir nas substâncias ou nas reações,[6] na dicotomia micro/macro ou até na tricotomia micro/macro/simbólico associadas ao discurso da Química (Costa Pereira, 1995); as relações de afinidade altamente específicas (Bernal & Daza, 2010);[7] as relações mereológicas parte/todo que exigem uma mereologia especial baseada na

5. Embora considerada geralmente como Ciência nomotética (que procura estribar-se em leis gerais), as leis da Química não são tão gerais como as da Física e a assunção de um certo carácter ideográfico (permeabilidade à História) poderia ter efeitos positivos para a Ciência em geral, que poderia cumprir um programa pan-ideográfico, com a Química a funcionar como Ciência Central.
6. O que instancia o velho problema filosófico de Heráclito e Parmênides sobre o que é real. A escolha da mudança como base ontológica tem um suporte atual na muito popular *Filosofia de processo* (Whitehead, 1978).
7. Ao contrário de outros ramos da Ciência, como a Mecânica (em que a atração entre corpos depende de uma qualidade inespecífica designada por massa) e a Eletricidade (em que a atração ou repulsão são reguladas pela também não específica carga elétrica).

teoria dos grupos (Earley, 2003);[8] as questões da redução e emergência (Earley, 2002); as relações de superveniência;[9] os problemas com a visualização (Gilbert, 2007; Gilbert & Treagust, 2009), ensino algorítmico (Scerri, 2004); a confusão filosófica na Educação Química (Scerri, 2004), etc.

A forma como têm sido procuradas soluções para esses problemas, no contexto da Educação Química, tem-se baseado num ponto de vista essencialmente metodológico, que não cremos ser suficiente e propomos que deva haver uma exigência de aproximações filosóficas. Contudo, essas aproximações têm sido feitas com base na epistemologia tradicional (positivista), principalmente a partir da concepção herdada da Filosofia da Ciência (dominada pelo positivismo lógico) e que, na Química, tem em Bachelard o seu principal aporte. Cremos que são possíveis e necessárias outras aproximações baseadas na emergente Filosofia da Química, caracterizada na próxima seção.

Filosofia da Química: um novo campo disciplinar

A Filosofia da Química é um campo disciplinar emergente na Filosofia das Ciências. Efetivamente, a Química foi varrida do panorama das Ciências pelo próprio Kant,[10] que lhe negava o estatuto de conhecimento *a priori*, necessário, segundo ele, para caracterizar

8. A mereologia (ramo da lógica que se ocupa das relações parte/todo) não se adapta à Química porque as suas partes (átomos) perdem as suas características ao combinarem-se. A mereologia química define-se através de entidades que exibem uma propriedade designada por *fechatura* e constituem um *grupo* (moléculas, cristais, estruturas dissipativas) objeto matemático que exibe *simetria* espacial e/ou temporal.
9. Superveniência significa ser dependente de uma série de fatos ou propriedades de tal forma que uma mudança só pode ocorrer quando ocorrer uma mudança em tais fatos ou propriedades.
10. Kant, na sua obra póstuma, veio parcialmente a retratar-se dessa posição, principalmente por causa do conhecimento que tinha da obra de Lavoisier, seu contemporâneo.

uma Ciência e acabou por ser responsável pela imagem de "colecionadores de selos e aquecedores de panelas" que os químicos, durante séculos, tiveram nos círculos filosóficos. Talvez porque tenha recuperado algum prestígio como conhecimento *a priori* a partir do reconhecimento da necessidade de fechatura das suas propriedades que permite caracterizar as entidades químicas,[11] mas principalmente por se demonstrar a impossibilidade da sua redução à Física, não obstante a óbvia relação de superveniência, o certo é que, em meados da década de 1990, a Filosofia da Química começou a se afirmar, contando atualmente com dois periódicos, a revista *Hyle*, com edições desde 1995, e a revista *Foundations of Chemistry*, com edições desde 1999, o mesmo ano da criação da *International Society for the Philosophy of Chemistry* (ISPC), que tem promovido encontros anuais. Nestes largos anos de existência, a Filosofia da Química já conta com uma vasta literatura, com mais de sessenta monografias e mais de setecentos artigos (Schummer, 2006) e uma vasta comunidade internacional de químicos e filósofos. Entretanto, esse debate tem tido um impacto modesto em nível mundial, pois o exemplo da influente American Chemical Society ao promover nos seus encontros sessões de Filosofia da Química não tem repercutido noutras Sociedades de Química, concretamente nas de Portugal e do Brasil, e, assim, tem sido, nestes países, quase nula a integração das produções da investigação em Filosofia da Química na Educação Química. No Brasil, que é a segunda maior comunidade de químicos do mundo, esse debate tem ainda pouca expressividade.

Um primeiro problema de investigação desse campo emergente foi identificar as verdadeiras razões para o negligenciamento da Química no contexto da Filosofia e da Filosofia da Ciência, para

11. Tanto os átomos, como as moléculas, como os cristais e ainda as estruturas dissipativas em que se distinguem os ciclos bioquímicos protagonizados pela autocatálise e que estão na base da auto-organização central ao atual paradigma científico (Earley, 1999), como ainda a mais recente classificação das fechaturas em três tipos (De Broglie, Poincaré e Cauvin) dos grupos que levam às entidades com poder causal (portanto ontológicas) da Química.

além da já referida opinião de Kant. A Química viveu e vive ainda uma situação paradoxal: considerada a ciência mais central e antiga, está em todos os lugares e em lugar algum (Bensaude-Vincent, 1992), é uma *ciência sem território*, a *serviço* de outras ciências como a Biologia e a Medicina. Ao mesmo tempo que é uma *ciência central* no que se refere às práticas, é marginal na discussão dos fundamentos conceituais e filosóficos (Van Brakel, 2006). Para Bensaude-Vincent (2009), a Química distingue-se das outras ciências por *criar o seu objeto*, por inspirar um *pensamento próprio* aos seus praticantes; caracteriza-se por *supremacias da relação sobre a substância* e da *representação sobre a realidade*, por uma *epistemologia do aprender fazendo* e uma *práxis de laboratório*.[12] Entretanto, é também o reino dos realistas (Bachelard, 2009), é a ciência mais produtiva e é a que menos discute seus princípios (Schummer, 1997).

Por que a Filosofia e a Filosofia da Ciência não tiveram interesse na Química como objeto de reflexão? E por que a Química não desenvolveu instrumentos e práticas reflexivas? E quais as implicações de tudo isso para o aparelho pedagógico da Química? Esse é um problema transversal ao currículo da Filosofia, da Filosofia da Ciência e da Química e reflete a imagem da ciência no século XX, um modelo ainda muito influente (se não hegemônico) no currículo e didática das ciências. Esse modelo ignorou a maior parte da ciência (não só a Química como também parte da Física) ao centrar-se na análise lógica, na predominância do conhecimento *a priori*; na pouca relevância e consequentemente pouca investigação da prática científica; ao focar-se na explicação e não na intervenção;[13] captando mais a ciência ideal e não tanto a ciência real. A Filosofia da Ciência, centrada nas análises lógicas e na linguagem da ciência

12. Embora haja laborató3rios em quase todas as ciências, segundo Bensaude-Vincent, o Laboratório é uma invenção química.
13. Corresponde ao ainda dominante Modo 1 de produção científica, que é baseado na explicação, enquanto o menos anacrônico Modo 2, baseado na resolução de problemas, ainda está muito pouco desenvolvido, especialmente nos meios acadêmicos.

acabada, negligenciou as práticas científicas, as imagens, os instrumentos, o laboratório, os valores e o contexto da descoberta, aspectos importantes do campo disciplinar da Química. No contexto da Química negligenciou muitos aspectos importantes da sua práxis, como as *classificações*, a *diagramaticidade* e a *processualidade* do seu pensamento. Também negligenciou boa parte dos valores reguladores da prática química como *tecnociência*, de forma que é legítimo questionar como seria a Filosofia da Ciência se tomasse a Química como modelo de ciência.

Qual a razão para essa *invisibilidade* filosófica da Química? A sua proximidade com a tecnologia? As suas raízes históricas no pragmatismo e o seu desinteresse pelas questões metafísicas? A crença, predominante durante o século XX, no reducionismo da Química à Física via fisicalismo?[14] A ausência de uma teoria científica de relevo como a teoria da gravitação da Física ou da evolução na Biologia? A ausência de uma pergunta filosófica fundadora? Para Schummer (2006), uma possível explicação pode estar na história disciplinar da Filosofia e na sua relação com a Matemática e o legado de Kant, que se inspirou na mecânica como modelo de ciência e que continua a ser referência tanto da Filosofia enquanto disciplina como na Filosofia da Ciência. Com a profissionalização da Filosofia da Ciência, que teve muita influência da Física teórica (particularmente das questões da mecânica quântica e da relatividade), passou-se a considerar a Filosofia da Física como modelo da própria Filosofia da Ciência, relegando as outras ciências para a categoria de *Ciências Especiais*. Nesse sentido, as questões fundacionais e demarcadoras sobre o que é Ciência foram postas no contexto da Física e da epistemologia tradicional, tiveram o caráter da Física como modelo de Ciência e têm sido usadas como inspiradoras de modelos didáticos. Ora, os filósofos da Química têm mostrado que esse modelo falha rotundamente ao tentar integrar a Química. Por outro lado, outras correntes filosóficas que poderiam ser mais ade-

14. Abordagem segundo a qual as últimas explicações seriam sempre dadas pelo comportamento de entidades submicroscópicas.

quadas a essa integração, como a *concepção semântica* e a *concepção estrutural*, estão ausentes ainda do debate epistemológico da didática (Ariza & Adúriz-Bravo, 2011).

A procura da desejável *visibilidade* da Química no contexto da Filosofia da Ciência tem orientado um programa mínimo e inicial da pesquisa em Filosofia da Química:

- A *materialidade* dos objetos da Química (Schummer, 2006): como a Filosofia da Ciência, influenciada pela Física que comandava a agenda científica, esteve durante todo o século XX voltada para o entendimento da universalidade das leis e para uma vertente analítica e teórica, e muito pouco interessada nas questões ontológicas e das práticas científicas, entende-se que esse seja um tema de relevância para a pesquisa.
- A *centralidade* e o significado da conceitualização dessa materialidade fazem com que a Química tenha uma *linguagem própria* e isso tem gerado controvérsia quanto ao domínio conceitual de muitos filósofos e historiadores (Schummer, 2006). São poucos a utilizarem a Química como exemplo nas suas teses e inferências sobre a Ciência ou sobre a Filosofia.
- A natureza e o lugar da teoria e as *questões fundacionais* em Química (Schummer, 2006).
- A *relação* da Química com a Física e a Biologia. Procura entender-se as relações entre essas ciências e a sua autonomia explicativa. No século XX, a Química foi refém da Física através da mecânica quântica (por o seu objeto se referir a entidades submicroscópicas) e da mecânica estatística (por tratar de muitas dessas entidades). A Física detinha para si o domínio e o projeto de explicação e redução do universo da Química (Costa Pereira, 1995). Agora a Biologia, que comanda nitidamente a agenda científica do século XXI, tem transformado a Química – a ciência central mas sem território – numa ciência ao seu serviço.

Filosofia da Química e currículo

O nosso interesse é buscar nesses debates uma primeira aproximação ao campo de problemas encarado de um ponto de vista curricular e pedagógico. Munidos de um olhar pedagógico e curricular, principalmente da noção de *conhecimento e interesse* desenvolvida por Habermas (2004), da noção de *recontextualização* de Bernstein (1990), da concepção de *pedagogia da substância* (Shulman, 1986), da *filosofia de processo* de Whitehead (1978) e da *teoria dos campos epistemológicos estruturantes* (Adúriz-Bravo, 2001), e tendo como dados a produção disciplinar teórica da Filosofia da Química e alguns programas de disciplinas orientadas para a formação de professores,[15] identificamos cinco *dificuldades* em pensar a Química curricularmente:

1) A primeira deriva da sua falta de *identidade disciplinar*, o que dificulta a criação de critérios racionais de seleção e organização de conteúdo e daí originam-se fortes problemas curriculares.
2) A segunda tem a ver com os *conceitos epistêmicos* por intermédio dos quais ela foi pensada, já que, influenciado pela epistemologia tradicional centralizada na Física teórica e pela historiografia da Química, o pensamento curricular deu prioridade às ideias de leis e teorias, próprias da ciência *ideal e nomotética* em contraste com os filósofos da Química, que têm defendido a centralidade da noção de *modelo e de representação*,[16] bem como outros padrões de racionalidade, como a *analogia* e a *abdução* e, mais radicalmente, um abandono mesmo do seu caráter *nomotético* (com que nunca deixaria de

15. Principalmente as disciplinas História da Química, Filosofia da Ciência, e Didática da Química e similares.
16. A concepção semântica e estrutural (modelo-teórica) também defende a centralidade da noção de modelo, contudo, essa corrente da Filosofia da Ciência não é muito integrada na didática das ciências (Ariza & Aduriz-Bravo 2011).

ser uma ciência de serviço, embora central) para assumir um caráter *ideográfico* (o que lhe permitiria, devido à sua centralidade, desempenhar o papel principal numa muito desejável *Ciência Pan-ideográfica*, que é, graças ao papel da História, uma utopia mais fácil de realizar do que a *Teoria de Tudo* da *Ciência Pan-nomotética*).

3) A terceira dificuldade deve-se à Química ser atravessada por *duas ontologias* no seu núcleo conceitual, uma substancialista e outra processualista, o que compromete a organização, coerência e integração conceitual.
4) A quarta dificuldade relaciona-se com o campo de *valores* científicos pouco explicitados e problematizados, o que vai influenciar os valores reguladores do currículo e na prática da Educação Química, induzindo práticas curriculares e pedagógicas orientadas fundamentalmente por códigos de natureza tácita, o que interfere no critério de seleção e organização de conteúdos e em todo o aparelho pedagógico.
5) Finalmente, como disciplina central, a Química está inscrita em uma *pluralidade constitutiva*, ontológica, epistemológica, metodológica e axiológica. No nosso entender, esta última constitui o mais importante fundamento filosófico da Educação Química e ainda não foi, tanto quanto é do nosso conhecimento, investigada.

Os nossos resultados, *ainda* parciais, indicam que, influenciado pela epistemologia tradicional, fortemente *contextualizada no* positivismo lógico, *o currículo de* Química não tem explicitado aspectos *importantes* da sua ontologia e epistemologia, *agora discutidos pela Filosofia da Química*, nomeadamente: *as classificações*; *a relacionalidade* e *a diagramaticidade* do seu pensamento; valores estéticos, imaginação, criação e inovação, intuição das heurísticas e da ética e razão prática da Química. Influenciado pela epistemologia tradicional, tornou-se difícil pensar as imagens, as práticas e os instrumentos; os valores; o contexto de descoberta, as imagens e a diagramaticidade. Esses elementos, importantes para a práxis química, são transmi-

tidos de forma tácita, comprometendo o seu aparelho pedagógico. É possível que a explicitação dos elementos definidores da práxis química possa gerar um ensino de Química mais eficiente? Nesse sentido, quais os elementos mínimos da práxis química e como pensar uma didática a partir desses elementos?

Dimensões da práxis química

Os filosófos da Química têm reiteradamente qualificado a Química como uma ciência complexa, operativa, criativa, inovativa, interventiva, heterogênea e pluralista, difícil de ser pensada e consequentemente ensinada (Figura 1). Esse fato tem grandes implicações curriculares.

Os três primeiros campos epistemológicos guardam maior relação com o processo de ensino-aprendizagem e com os obstáculos conceituais e epistemológicos. Principalmente com os níveis de descrição e análise e as formas de representação em Química, sobretudo a forma diagramática. Cremos que a elucidação de problemas ontológicos, como os tipos químicos e o problema da referenciação, e também o problema do reducionismo/emergência, podem esclarecer os principais problemas epistemológicos e conceituais, como: parte/todo, micro/macro, continuidade/descontinuidade da matéria, dinâmica/estática e a circularidade conceitual.

Os outros três campos têm relação maior com o pensamento curricular, principalmente com o desenvolvimento e regulação curricular e o campo de finalidades e objetivos curriculares. Pela breve descrição anterior, percebemos que a Química é caracterizada por forte inter-relação entre variados contextos (economia, indústria, academia), variadas categorias de autores (professores, investigadores, industriais, engenheiros) e caracterizações: como ciência explicativa (Modo 1), interventiva (Modo 2), pós-industrial, pós-acadêmica (Sjöström, 2006a, 2006b), e como uma tecnociência. Será que isso faz com que a Química tenha na axiologia e praxiologia uma centralidade superior à que tem na epistemologia?

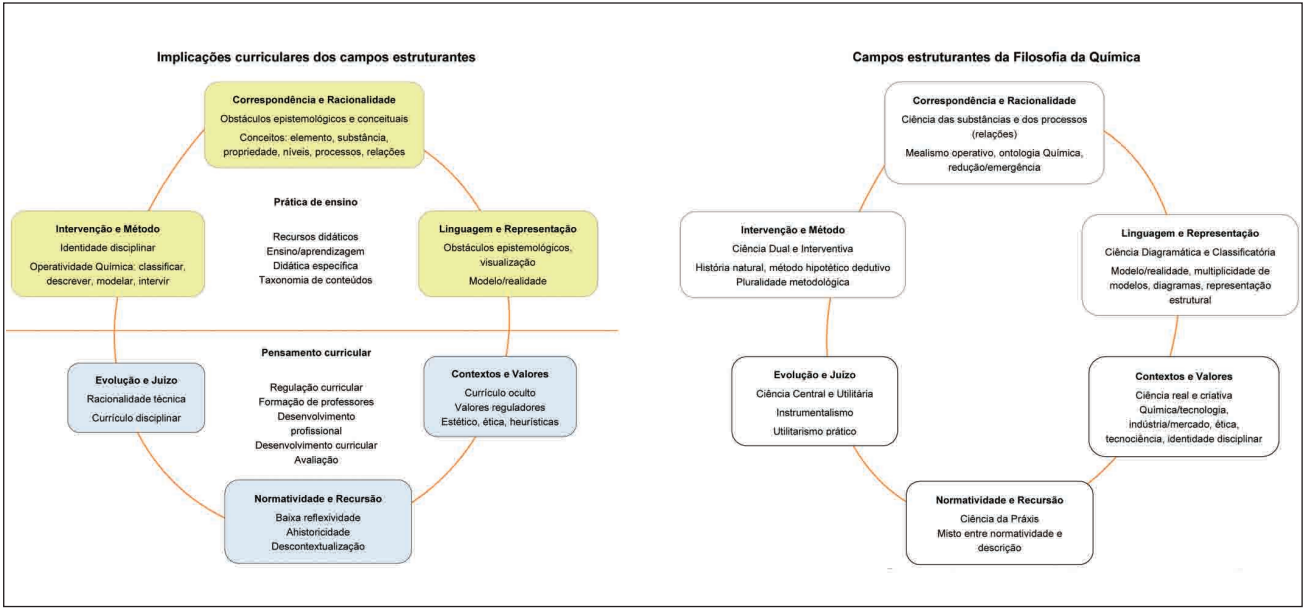

Figura 1 – Campos estruturantes e implicações curriculares

O adjetivo "plural" tem sido recorrente na literatura da Filosofia da Química. Efetivamente, para além do fato de a teoria em que se baseia a conceitualização da Química não ser unificada,[17] essa ciência tem sido reiteradamente caracterizada por vários tipos de pluralismo: ontológico (Bachelard, 2007), metodológico (Schummer, 1997, 2006), epistemológico (Bachelard, 2007) e axiológico (Hofman, 1999; Kovac, 2002). A Química inscreve-se em um pluralismo constitutivo, mobilizando variados atores e contextos (indústria, economia, academia); variados estilos de pensamento (razão prática e teórica, heurístico, diagramático, relacional e processual); variados recursos cognitivos, como classificação (Harré, 2011), visualização (Gilbert & Treagust 2009), intuição (Talanker, 2010), imaginação (Hofman, 2000); variados valores pessoais e culturais: estéticos, inovativos, criativos, utilitários; e uma fenomenologia inscrita em complexas relações ontológicas, envolvendo a categorização dos tipos naturais, relacionalidade, recursividade, lógica relacional e mereológica e uma relação constitutiva com os instrumentos de medida. Como pensar e ensinar coerentemente essa pluralidade constitutiva?

Inscrição na Filosofia	**Fundamentos**	**Autores da Filosofia da Química**
Filosofia Natural, Filosofia da Ciência	Aristóteles, Duhem, Kant	Paul Needham, Rom Harre, Eric Scerri, Van Braquel
Filosofia dos Signos	Peirce, Cassirer	Godwin
Filosofia dos Instrumentos	Bachelard	Alfred Nordham, Davis Baird, Daniel Rothbart
Conhecimento Tácito	Polanyi	Mary Jo Nye, Jefrei Kovac
Filosofia de Processos	Prigogine	Early, Harré, Daza, Bernal

17. As duas grandes teorias são a teoria de ligação de valência e a teoria das orbitais moleculares, com bases totalmente diferentes e de que derivam conceitos também muito diferentes, que na generalidade dos compêndios de Química aparecem indiferenciados, situação que contribui para a grande dificuldade de aprendizagem da Química.

Na tabela anterior identificamos cinco domínios em que, explícita ou implicitamente, filósofos da Química têm tido maior produção. Desses cinco domínios identificamos cinco temáticas transversais à Filosofia, à Química e ao currículo: classificações (Harré, 2011; Needham, 2004); processualidade e relacionalidade (Soukup, 2005; Bernal & Daza, 2010; Earley, 2004); diagramaticidade (Seibert; 2001, Godwin, 2008); fenomenotecnia (Rothbart, 1999; Nordhamm, 2006; Baird, 2005); dimensão tácita (Kovac, 2002; Nicole, Hopf & Schereiner, 2009). Na dimensão tácita incluímos os valores, i.e., a axiologia. Contudo, parece prudente separar a dimensão tácita dos valores e identificá-la como uma dimensão de maior inclusividade, presente em todas as demais, na construção de representações, nas classificações e na relação com os instrumentos.

Cada dimensão mobiliza uma epistemologia e um modo de pensamento, instancia um modelo didático, estilos de aprendizagens, tipos de conteúdos, modos de ensino e recursos didáticos. O grande objetivo da Educação Química é, assim, atingir a sua pluralidade cognitiva e didática (Figura 2), tendo a forma de o fazer sido pouco investigada e sistematizada no pensamento pedagógico da Química. Nas seções seguintes sintetizamos cada uma dessas dimensões; no início de cada seção mostramos uma tabela síntese e outra seguinte com elementos de planejamento da proposta da disciplina.

Figura 2 – Dimensões da práxis química

As classificações e a organização do conhecimento químico

A Química é uma ciência da classificação, por excelência.
Scerri, 2004

Tipo de conhecimento	Conceitual
Conceito estruturante	Propriedades, composição, substância, equilíbrio, composição, permanência
Tipo de conteúdo	Conceitual, fatual
Estilo de aprendizagem	Teórico
Forma de ensino	Demonstrativo, argumentativo
Tipo histórico de ensino	Ensino tradicional

Grande temática

Classificações e organização do conhecimento químico

A Química é uma ciência da classificação, por excelência.
(Scerri, 2000)

Objetivo

Aproximar conteúdos de Química com elementos da Filosofia Natural

Conteúdos

- Ontologia de substância, essencialismo na Química, tipos químicos, essências nominais e reais
- Filosofia Natural, pensamento categórico e os principais conceitos químicos: substância, composição, elemento, propriedades, equilíbrio, estabilidade
- Reducionismo × emergentismo
- Princípios e principais classificações da Química
- Erros conceituais e epistemológicos no ensino-aprendizagem: micro/macro

Competências

Competência cognitiva e conceitual

Tipo de ensino

Tradicional

No século XVII, a Filosofia da Ciência preocupou-se com o método (Pombo, 2006). No século XVIII-XIX, atingiu-se com o iluminismo o esplendor da disciplinarização e a classificação tornou-se central primeiro em Lineu, nas Ciências Naturais, e depois em Comte e Spencer. No século XX, apesar de Peirce,[18] Piaget e Foucault, a centralidade maior foi da axiomatização das teorias no contexto do Círculo de Viena e do positivismo lógico. As ciências que não possuíssem teorias formalizáveis eram mera filatelia e as classificações foram tidas como um conhecimento menor. Na atualidade, o estatuto das classificações é recuperado com as nanotecnologias e a astronomia, campos dominados pela imagem (Pombo, 2006).

As classificações são *arbitrárias*, dependem da razão humana, têm um *princípio classificador* e aspiram à *clareza, completude e ao*

18. No esquema classsificatório de Peirce, a Química é posta juntamente com a lógica.

dirimir da ambiguidade. No contexto da Química, a dispersividade e o crescimento exponencial medido tanto em praticantes como em produção de artigos ou de compostos (Schummer, 1999) oferece desafios à produção e reprodução do conhecimento químico, obrigando o desenvolvimento de poderosos esquemas classificatórios para documentação que opera por um princípio de completude servindo a um sistema educativo (que opera por seletividade, unidade e convergência) e à investigação.

A Química é uma ciência da classificação por excelência (Scerri, 2004). Os seus protagonistas, ao contrário da Física, foram descobridores de princípios classificatórios: Paracelso usou propriedades disposicionais; Lavoisier, substância pura; Mendeleev, peso atômico; na atualidade, há uma variedade enorme de sistemas classificatórios fundamentados em princípios matemáticos da Química Quântica, topologia, padrões emergentes, tema sempre candente de busca de unidade.

Os esquemas classificatórios (Figura 3) são transversais à história e à cognição química e servem de princípio fundador da sua didática e da literacia química. Nos principais periódicos de Química e ensino de Química, e também nas disciplinas analisadas, não há uma explícita alusão ao problema das classificações como um fundamento transversal.

Existem diferentes tipos de classificações, baseando-se todos num poderoso sistema conceitual que se inscreve no domínio da *ontologia*, já que está em causa a necessidade de clarificar os tipos que dela resultam: são naturais ou artificiais? São observáveis ou inobserváveis? Como determiná-los? Quando dizemos, por exemplo, que o metal é duro, e não o duro é metal, já temos *a priori* o conceito de "substância" (Earley, 2006) que poderá excluir os compostos não estequiométricos (bertolídeos), mas que inclui entidades químicas como as estruturas dissipativas[19] que filosoficamente são substâncias e cuja consideração leva ao aparente paradoxo de

19. Por exemplo, chamas.

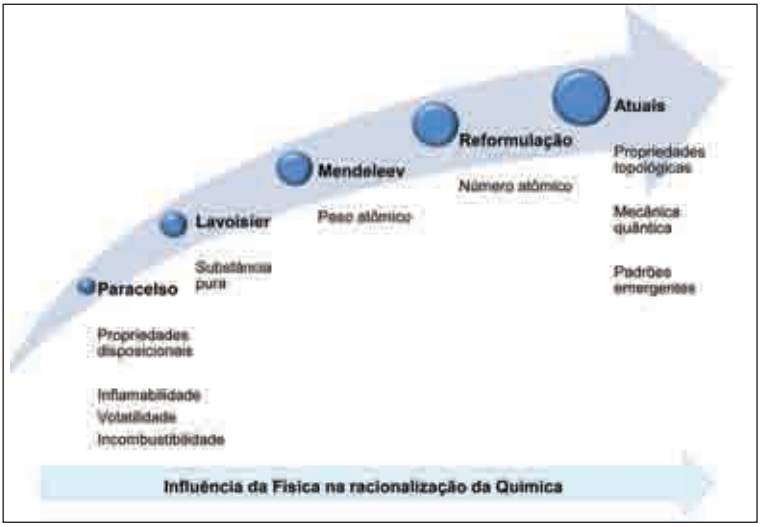

Figura 3 – Classificações na Química

"substâncias" químicas que não são "substâncias químicas". Ao conceito de substância geralmente acrescentamos qualificações, propriedades, que podem ser intrínsecas, essenciais ou relacionais. As propriedades podem ter um estatuto filosófico diferente, conforme se opte pela teoria do substrato (*substrate theory*) de Locke ou pela teoria dos molhos (*bundle theory*) de Hume (Earley, 2010). De qualquer modo, definem categorias[20] de pensamento, donde são extraídos, por exemplo na Química, conceitos nucleares e primitivos como: elemento, substância, afinidades, valência, equilíbrio, permanência (tempo de semivida) e processos. Logo, a Química está também inscrita na Filosofia Natural, tema geralmente aceite (Earley, 2005), mas pouco explicitado e problematizado nos textos analisados.

Trabalhos sobre a ontologia da Química, tipos naturais da Química, periodicidade (Needham, 1996, 2002; Harré, 2004, 2010,

20. Essas categorias não têm consenso na História da Filosofia; por exemplo, Peirce, que certamente recebeu influência da Química, usa relação em lugar de substância como categoria do pensamento.

2006; Scerri, 2002; Schummer, 2006), fundamentados principalmente em Aristóteles e Pierre Duhem, têm sido um marco na explicitação dessa dimensão. Duhem, um físico-químico, explicitou o caráter classificatório das operações químicas e o caráter operativo e por vezes convencional e instrumental das representações. Para Duhem, uma teoria é, antes de mais nada, um sistema de classificação de fenômenos. As suas produções, muito trabalhadas por Needham (2002) podem servir como fundamento didático, mas ainda não são explicitadas nos textos analisados.

Harré (2010) afirma que a gramática do discurso da Química, pelo menos depois de Boyle, é marcadamente mereológica, embora Earley (2006) defenda que a mereologia convencional não se aplique à Química e procure definir uma mereologia estendida, para o efeito. Harré (2006) também interpreta a História da Química como uma tensão e transição entre entidades nominais, caracterizadas por qualidades secundárias e entidades reais, caracterizadas por qualidades primárias.[21] Do século XVIII até o presente, a Química tem-se transferido cognitivamente para entidades reais ao buscar explicação física e matemática, conseguindo um estatuto realista para os átomos desde o artigo de Einstein (1905) sobre a interpretação do movimento browniano,[22] embora tenha que se resignar com a utilização de aproximações e de ficções como orbitais e configurações eletrônicas (Scerri, 2004).

Essa tensão entre entidades nominais e reais é particularmente evidente na tensão entre a Química descritiva (essências nominais) e a Química teórica (essências reais), fortemente influenciada pela

21. As qualidades primárias são independentes da observação, enquanto as secundárias são dependentes da observação. Note-se que Earley (2000) discorda dessa distinção entre qualidades e propõe uma alternativa em propriedades que resultam da adição das partes componentes e propriedades que resultam da interação entre as partes componentes.

22. Este foi o menos conhecido dos três artigos que o jovem Einstein publicou em 1905. Os outros foram o que lança a relatividade restrita e a interpretação do efeito fotoelétrico.

revolução instrumental da Química dos pós-guerras. A Química descritiva é o coração de muitos processos e aplicações e forma a base histórica da tabela periódica. Entretanto, como é difícil de ser ensinada, é frequentemente omitida em muitos cursos (Bent & Bent, 1987; Houten, 2009), o que é um prejuízo crítico para os alunos.

A didática dessa dimensão relaciona-se imediatamente com a competência conceitual e argumentativa e com formas de trabalhar com conceitos. Deve, necessariamente fazer-se forte vinculação com a Filosofia Natural, a lógica, a mereologia e operações classificatórias.

A processualidade do pensamento químico: implicações para o seu ensino

Na Química há a supremacia da relação sobre a substância.
Bensaude-Vincent, 2009

Tipo de conhecimento	?Fluido??
Conceito estruturante	Relações, processos, níveis
Tipo de conteúdo	Relacional e específico
Estilo de aprendizagem	Teórico
Forma de ensino	? mapas, redes
Tipo histórico do ensino	Aula Voadora (*Flying Classroom*) (Valente), Vinhetas Históricas Interativas (IHV) (Wandersee & Griffard, 2002)

Grande temática

O pensamento processual na Química

Supremacia da relação sobre a substância.
(Bensaude-Vincent, 2010)

Objetivo

Integrar conteúdos químicos com elementos da Filosofia de Processos

Conteúdos

- O *status* epistemológico da noção de relação em Química e ontologia química
- Prigogine e a Química
- Propriedades relacionais e dependentes do contexto
- Mereologia como a gramática do discurso químico

Competências

Recursividade?

Tipo de ensino

Ainda não há
Mapas e rede de reações?
Rizomático?

Um elemento recorrente ao pensar a autonomia da Química tem sido caracterizá-la como ciência de relações peculiares (Schummer, 1997; Bernal & Daza, 2010), que constrói conhecimento através de uma rede de relações e entre substâncias tidas como atores químicos (Bensaude-Vincent, 2010). Soukup (2005) defende que a característica relacional[23] distingue a Química da Física, que trabalha mais com relações exteriores e com simetrias temporais. Na Química, as relações são assimétricas e específicas[24] caracterizam-se por um corte temporal, do antes e do depois, dos reagentes e dos produtos, dos processos irreversíveis, abertos, distantes do equilíbrio e da complexidade.[25] Por conta disso, alguns autores defen-

23. No esquema classificatório das ciências de Peirce, a Química está no mesmo contexto da lógica. Ele não considerava substância como categoria e sim a relação.
24. A afinidade química é absolutamente específica, enquanto a atração gravítica dependente da massa e a atração ou repulsão elétrica, dependente da carga, são genéricas.
25. No fundo, caracterizando a seta do tempo (Prigogine).

dem que a Química também é orientada por um conhecimento ideográfico (Lamza, 2010), inscrito também em uma razão histórica e na Filosofia de Processos.

Bernal & Daza (2010) identificam na *tabela das afinidades* de Geffroy – em contraposição ao *corpuscularismo* dominante (e. g. de Boyle) – um primeiro exemplo de sucesso do *pensamento relacional* em Química e defendem que as classificações, a nomenclatura e muitos conceitos centrais da Química, como *afinidade* e *reações*, têm *caráter relacional*. De tal sorte que a *relacionalidade* e a *recursividade*[26] seriam elementos transcendentes da práxis química. Por exemplo, os gases nobres teriam grau zero de relacionalidade, enquanto os metais alcalinos teriam uma grande recursividade.

Em uma ontologia de *relações internas*, os objetos são posteriores às suas relações. Dessa forma, a Química adota uma posição antiessencialista ao considerar que as propriedades são instanciadas no contexto das relações, instanciando propriedades relacionais, contextuais e emergentes, levando a Química a uma lógica relacional, em que a recursividade ocupa um lugar central, inscrevendo-se na Filosofia dos Processos (Whitehead, 1978). Vemos evidências da preponderância dessa ontologia na "construção de todo o edifício químico": na nomenclatura, nas fórmulas e nas classificações químicas, nas quais as partes só podem ser definidas na totalidade das suas inter-relações. Assim, a *recursividade, a processualidade e a relacionalidade* constituem, no seu conjunto, o segundo fundamento ou dimensão da Educação Química inspirada na sua filosofia.

Os conceitos ou temas principais dessa dimensão são os níveis e as relações químicas, e quais são? Micro/macro, parte/todo? Que tipo de relações mereológicas existem na Química? Apesar de algumas contribuições (Earley, 2004), não há, ainda, explicitações didáticas e os programas analisados ainda não integram essa di-

26. Chama-se recursividade a propriedade de uma classe de objetos ou métodos que, uma vez definidos alguns casos base ou métodos muito simples, define regras para formular casos complexos em termos de casos mais simples.

mensão nem se fazem com base nela aproximações ao currículo e à didática. Uma aproximação incipiente à aplicação didática dessa dimensão consiste em identificar mapas ou redes de reações, o que já foi feito, de forma implícita, em alguns livros de Química Orgânica. Outra possibilidade é identificar os níveis de descrição e análise da fenomenologia química, o que também já foi realizado de forma implícita por alguns livros didáticos.

A não problematização das duas dimensões anteriores e a sua transmissão tácita podem estar na origem dos inúmeros obstáculos conceituais e epistemológicos já explicitados pela literatura, principalmente o problema micro/macro/simbólico das representações químicas, que se manifesta na atribuição das propriedades das substâncias às moléculas; nas características recursivas das entidades e linguagem química; na estrutura de níveis hierárquicos e na processualidade da ontologia química.

Diagramaticidade do pensamento químico

Na Química há uma supremacia da representação sobre a realidade.
Bensaude-Vincent, 2009

Tipo de conhecimento	Diagramático, simbólico
Conceitos estruturantes	Modelo, representação estrutural
Tipos de conteúdos	Diagramáticos, icônicos, imagéticos
Estilo de aprendizagem	Teórico, visualização
Modo de ensino	Modelagem, processos de visualização
Tipo histórico de ensino	Ensino por modelagem e as TIC

Grande temática

A diagramaticidade do pensamento químico

Supremacia da representação sobre a realidade.
(Bensaude-Vincent, 2009)

Objetivo

Integrar conteúdos químicos com elementos da Filosofia dos Signos, pensamento diagramático

Conteúdos

- Representação estrutural
- Peirce e a Química
- Habilidades visuais e dificuldades no ensino da Química
- Estrutura × propriedade
- Topologia química
- Representação química no tempo

Competências

Competência representacional

Tipo de ensino

Modelagem
Ambientes virtuais

O século XIX foi de imenso desenvolvimento da Química Orgânica (Figura 4), tornando-se claro que os compostos existentes na natureza e que se iam sintetizando não podiam ser individualizados, determinados e discriminados apenas pela massa molecular, composição qualitativa e topologia,[27] sendo necessário também o entendimento do arranjo espacial. A centralidade da composição é perdida para a estrutura, iniciando-se uma ciência com um caráter muito diferente do ideal da revolução científica, criada e fundada numa linguagem simbólica e diagramática (Godwin, 2008), com funções, descritivas, operativas, explicativas, heurísticas e comunicativas, tão rigorosa quanto a Matemática, e que passa a ocupar cada vez mais a razão teórica e prática dos químicos. Isso insere-se num movimento muito importante presente durante grande parte

27. Definida pela conectividade dos átomos representada nas fórmulas de estrutura.

do século XX, chamado *estruturalismo*, que pode levar a uma ontologia radicalmente diferente daquela da substância ou relação, pois as únicas entidades reais seriam as estruturas, o que tem consequências espantosas, já que as propriedades dessas estruturas, nomeadamente a sua *fechatura* e *simetria*, condicionam a ligação e as propriedades químicas (Earley, 2011).

A diagramaticidade da Química foi evidenciada por Charles Sanders Peirce, principalmente na sua teoria dos grafos, explicitando também o caráter relacional e pragmático da práxis química. Desde então, a Química inscreve-se cada vez mais nos domínios da Filosofia da Linguagem e da Semiótica (imagem, signos), negligenciadas pela agenda do positivismo lógico, mas recentemente restituído ao seu estatuto e afirmando-se como potencial fundamento da Educação Química (Araújo-Neto, 2009).

No pensamento pedagógico da Química, principalmente pela influência do modelo semanticista da epistemologia, tem sido evidenciada, nos últimos anos, a importância dos modelos (Justi, 2006; Chamizzo, 2010), da competência representacional, da habilidade de visualização espacial (Gilbert, 2007), frequentemente com suporte nas TICs. Em apenas uma disciplina analisada foi constatada a presença explícita dessa temática, nas demais, a diagramaticidade é aplicada de forma não explícita e, muito menos, problemática.

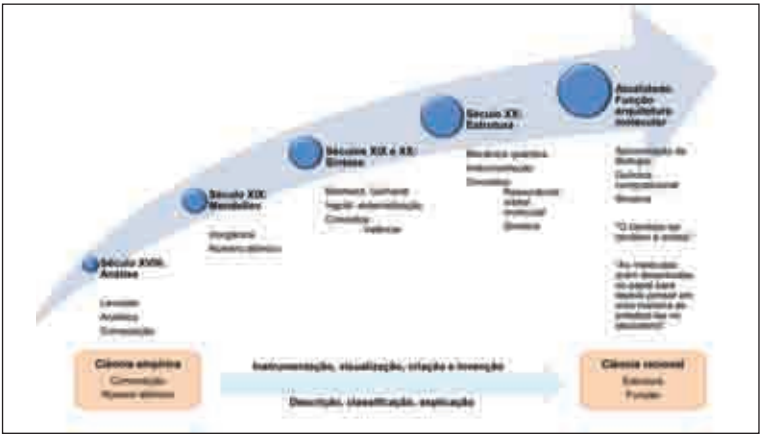

Figura 4 – Evolução cognitiva da estrutura química

A fenomenotécnica no fazer químico: Bachelard

A Química pensa com as mãos.

Tipo de conhecimento	Procedimental e conceitual
Conceitos estruturantes	Técnica, medida e instrumento
Tipos de conteúdos	Procedimentais
Estilo de aprendizagem	Pragmática
Modo de ensino	Por procedimentos e mudança conceitual
Tipo histórico de ensino	Ensino por descoberta, mudança conceitual

Grande temática

Os instrumentos e as técnicas na fenomenotécnica do fazer químico

A Química pensa com as mãos.

Objetivo

Integrar conteúdos químicos
com elementos da Filosofia dos Instrumentos

Conteúdos

- Química, técnica, tecnologia e tecnociência
- Bachelard e a fenomenotecnia química
- O instrumento e a especiação química
- Revolução instrumental na Química
- Relação Química e Física
- Algoritmicidade e a Química

Competências

Competência procedimental

Tipo de ensino

Por descoberta:
Experimental
Laboratório

Existe uma interdependência entre espécie química, os instrumentos e as técnicas químicas (Rothbart, 1999). Para Nordhamm (2006), orientado pela Química, Bachelard formulou um conceito dinâmico de substância, uma *metaquímica*. A metafísica define as condições de possibilidade da pesquisa científica, a metaquímica orienta a prática científica, que se prende na relação dialética entre conceito e empiria, entre conceito e imagem, entre signo e significado. O conceito de fenomenotecnia é uma antecipação, na prática química, da imagem tecnocientífica da ciência atual (Bensaude-Vincent, 2009).

O grande desenvolvimento dessa dimensão deu-se, por influência da Física, após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), com a revolução instrumental, dita por vezes "segunda revolução química"[28] (raio X, infravermelho, RMN, UV). A partir daí, as espécies químicas serão, em parte, determinadas instrumentalmente.[29]

O problema didático principal dessa dimensão é referir-se a uma versão do conhecimento instrumental e analisar a ciência pelo conhecimento justificado e não em produção, em ação. O principal perigo didático por lidar com conhecimento procedimental é a transformação de procedimentos heurísticos em procedimentos algorítmicos, transformando a aprendizagem em rotinas mecânicas e dificultando aprendizagens estratégicas e autorregulatórias. Essa realidade é, de fato, a mais explicitada pela pesquisa em Educação Química e a mais evidente nas consequências que essa rotinização tem para o seu ensino, o que aponta para uma necessidade de uma aproximação à Filosofia dos Instrumentos como outro importante fundamento da Educação Química (Baird, 2006; Rothbart, 1999).

---

28. Claro que a primeira estaria associada a Lavoisier.
29. Hoje em dia, na rotina da Química Orgânica, quando se pretende fazer a identificação de um composto vai-se diretamente para um processo instrumental (especialmente ressonância magnética nuclear ou espectroscopia, especialmente infra-vermelha ou de massa), ultrapassando a análise qualitativa e quantitativa, não sendo os pontos de fusão e ebulição dispensados por servirem de critério de pureza (quando *sharp*) e, claro, para figurarem no *paper*.

A dimensão tácita do conhecimento químico

A Química cria seus próprios objetos.

Tipo de conhecimento	Conhecimento pessoal
Conceitos estruturantes	Valores e cultura química
Tipos de conteúdos	Atitudinais
Estilo de aprendizagem	Aprendizagem cognitiva (*cognitive apprenticeship*) (incluindo as fases de *modelling*, *coaching*, *scaffolding* e *fading*)
Modo de ensino	Transmissão de códigos culturais através da relação discípulo/mestre, comunidade de prática
Tipo histórico de ensino	Ensino Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA)

Grande temática

A dimensão tácita do conhecimento químico

A Química constrói o seu objeto.
(Berthelot)

Objetivo

Relacionar a prática química com elementos do pensamento tácito e da prática científica

Conteúdos

- Pensamento heurístico na Química: contexto da descoberta
- Valores estéticos na descoberta química
- A ética e a prática química: neutralidade axiológica das sínteses químicas
- Química, inovação e criação

Competências

Competências atitudinais

Tipo de ensino

CTSA: não problematiza os conteúdos, apenas os integra a questões sociocientíficas

Para Kovac (2004), a Química é orientada, paralelamente à razão teórica, dedutiva, apriorista e formalista, também por uma razão prática. Esta, negligenciada pela Filosofia da Ciência até os anos 1980, é *a posteriori*, criativa, fundada no contexto da descoberta, imaginativa, regulada por valores não apenas epistêmicos, como heurísticas, intuição, estética, inovação, criação, utilidade e funcionalidade.

A Química, associada à sua longa inscrição nas relações entre indústria, mercado e academia, no seu longo diálogo com as artes práticas e as técnicas, não se reduz ao formalismo teórico. Além de valores epistêmicos já legitimados, alguns filósofos da Química têm reiteradamente identificado uma variedade de valores na prática química, como: criação, estética, inovação, heurística, imaginação, intuição. Essa dimensão mobiliza um conhecimento pessoal, não reduzido ao algorítmico, um conceito, com conteúdos atitudinais e procedimentais e uma forma de ensino e aprendizagem diferente da habitual (predominantemente conceptual), associada a um *saber fazer*, concretizando-se em *comunidades de prática*, imersa na *cultura química*. É um conhecimento especialmente produzido por práticas e transmissível pela vivência, pelo contato e submissão à autoridade da relação mestre-aprendiz.

Essa forma de ensino-aprendizagem, por estar fortemente vinculada às dimensões axiológica e praxiológica, é caracterizada por um maior externalismo e está particularmente relacionada com o discurso regulador da Química e do currículo, marcado no contexto das relações entre Química/indústria, Química/academia, Química/economia, e nas problematizações das relações éticas e sociológicas, que integram questões de profissionalidade, deontologia e axiologia da Química, temas ainda pouco investigados pela Filosofia da Química e muito pouco integrados na Educação Química. Defendemos, consequentemente, a necessidade do desenvolvimento de uma Sociologia da Química, ainda não convenientemente estudada, para fazer frente ao currículo fortemente implícito, enquadrado, classificado e oculto (Chamizo, 2010). Como resultado teríamos um currículo crítico e emancipatório, orientado pela forma química de pensar

(Bensaude-Vincent, 2009) e não por valores implícitos e ocultos como até agora.

Nesse contexto, a cultura científica e outras formas de comunicação da ciência, como a divulgação científica, passam a ter importância. Torna-se necessária uma prática informada por uma cultura que valorize operações de pensamento. O principal problema dessa dimensão é não problematizar a prática e socializar um conhecimento mais de reprodução do que de produção. O currículo CTSA tem integrado alguns desses temas, mas problematiza pouco os conteúdos. Nas disciplinas analisadas há uma preocupação com as relações Química/sociedade, Química/indústria, mas não há problematizações dos conteúdos.

Historiografia da Química e as dimensões da práxis química

Como foi dito na introdução, a Historiografia da Química sofre influência da visão de ciência produzida pela Física, dando muita ênfase às noções de leis e teorias, portanto, ao domínio fenomenotécnico. Seguindo essa tradição, uma ciência seria caracterizada como madura quando possuísse leis e teorias bem formuladas e se possível axiomatizadas. A maioria dos historiadores da Química aponta Lavoisier como protagonista da grande revolução, ou evolução, química (Debus, 1991). Vendo por outra ótica, por exemplo a de constituição de uma linguagem, teríamos então em Dalton o critério demarcador. Se víssemos pelo critério da prática ou critério da relação instrumental, já com Robert Boyle teríamos atingido a transição para a Química Científica.

Outra questão interessante é pensar as controvérsias químicas pela disputa de duas dimensões de pensamento não suficientemente explicitadas. Por exemplo, a controvérsia da aceitação do modelo atômico entre Helmotz e Mach pode ser claramente uma disputa entre a dimensão diagramática, defendida por Helmotz, e a dimensão fenomenotécnica, defendida por Mach.

A Didática da Química e as dimensões da práxis química

O ensino de Química foi inicialmente descritivo e classificatório, dando muita ênfase aos aspectos demonstrativos e, portanto, à dimensão classificatória e a conteúdos factuais. Depois, com a reforma proposta por *Liebig*, ele passou a ser experimental, dando bastante ênfase ao laboratório como elemento central e estruturador do ensino.

O ensino descritivo da Química foi desacreditado e na atualidade, após principalmente a reforma curricular dos anos 1960,[30] que incentivava o ensino por redescoberta, é a dimensão fenomenotécnica, a relação com a técnica, com os instrumentos que estão em plena ênfase. Nessa dimensão, os conteúdos mais valorizados são os procedimentais. E isso pode ser o retrato do ensino e das muitas dificuldades deste, já que os conteúdos procedimentais se podem dividir em diversos procedimentos: procedimentos heurísticos, nos quais se faz a explicitação de elementos conceituais e, no outro extremo, procedimentos algorítmicos. No caso do ensino da Química, há uma forte ênfase nos procedimentos algorítmicos, tanto do ponto de vista das subdisciplinas mais práticas, utilizando algoritmos práticos, por exemplo, nas subdisciplinas mais teóricas como a Química Física que utilizam algoritmos numéricos e matemáticos, onde não há espaço para a teoria, apenas para reprodução. Isso é verificado tanto pela investigação como pelo ensino. A não explicitação dos elementos conceituais favorece os procedimentos algorítmicos. O que interessa é que esse ensino ainda usa muito os conteúdos procedimentais, fruto da grande extensão da influência

30. Essa reforma no currículo das Ciências ocorreu no Ocidente em plena Guerra Fria, quando o primeiro satélite tripulado, o *Sputnik* foi lançado pela União Soviética, o que fez mobilizar enormes recursos para novos currículos de Educação Científica que permitissem recuperar o atraso do Ocidente relativamente ao bloco de Leste.

da Física sobre a Química. De forma que a Educação Química tem usado fundamentalmente um ensino algorítmico.

Após os anos 1990 e mais intensamente nos anos recentes com a importância dada aos processos de comunicação e linguagem no ensino, tem-se investigado muito a importância dos modelos na Química (Justi, 2006; Chamizzo, 2010) e, portanto, da dimensão diagramática da Química, sendo cada vez maior a busca pela compreensão deste domínio (Gilbert, 2005, 2009). Algumas dissertações de mestrado (Gois, 2005) e teses de doutoramento (Araújo Neto, 2009) têm estudado esse domínio, principalmente no que diz respeito ao conceito de representação estrutural. Esses trabalhos têm feito uma aproximação da filosofia de Cassirer e de Peirce aos problemas da representação estrutural em Química. Na atualidade, esse é um dos grandes domínios de investimento da investigação em ensino. Também essa dimensão representa uma aproximação do modelo semântico de ciência ou concepção modelo-teórica.

A dimensão tácita e a questão dos valores são também contempladas pela linha CTSA, contudo, esses currículos partem apenas da ideia de contextualização e de temas geradores nos contextos sociais significativos, não problematizando a partir dos conteúdos. Na Química, a dimensão tácita é uma dimensão que merece ser fortemente investigada, pois a gênese e o significado de muitos conceitos químicos têm relação com a dimensão prática e são regulados por valores como a utilidade e aplicações. A dimensão processual ainda não foi explorada no ensino de Química, mas as noções de mapas de reações, redes reacionais e níveis podem oferecer muitos *insights* para a prática química.

Um fato que identificamos, a partir das nossas discussões, é que a Didática da Química tem sido pensada a partir de uma só dimensão, faltando a sua integração. E isso pode explicar alguns problemas do ensino de Química. Primeiro, a naturalização química de conceitos primitivos e não indutivos da Filosofia, como: substância, propriedades, elementos, equilíbrio, estabilidade, os quais são da tradição da Filosofia Natural e não são problematizadas no currículo, comprometendo a aprendizagem conceitual, bem como a aprendizagem das

representações químicas. Esses conceitos são ressignificações para o contexto da Química da tradição filosófica, logo, no seu ensino, devem ser ensinados a partir de sua fonte natural.

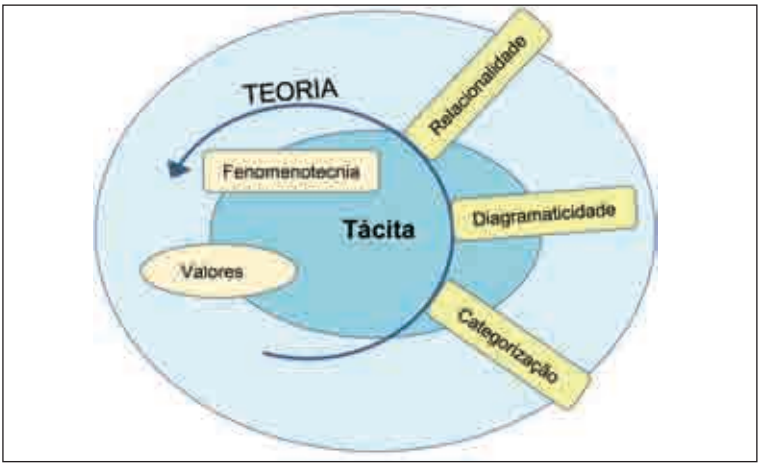

Figura 5 – Dimensões da práxis química

Outra questão é que a dimensão diagramática lida com o problema da imagem, da representação e isso pode naturalizar a imagem e tornar um obstáculo a aprendizagem, inclusive a conceitual. Isso é verificado principalmente no uso das TICs, que fazem intenso uso dos recursos mediáticos, mas não problematizam a questão epistemológica de fundo, tendo uma visão muito instrumental do conhecimento. Acabam por reificar a imagem e não problematizar a questão dos modelos e da representação em Química.

Uma outra questão refere-se à dimensão fenomenotécnica, que lida com procedimentos, e a não problematização conceitual gera procedimentos algorítmicos. Gera também a naturalização do instrumento e da técnica. Automatiza práticas e potencializa um conhecimento técnico e pouco reflexivo, portanto potencializa mais a reprodução do que a produção de conhecimento.

Outra questão refere-se à dimensão tácita, que pode gerar uma autonomização sem reflexão da prática. Essa dimensão refere-se a

valores e finalidades, à não explicitação destes na prática curricular ou pedagógica, faz com que não tenhamos um discurso pedagógico coerente e fundamentado, o que é grave, pois, de acordo com Bernstein (1992) a explicação das regras discursivas e das finalidades da aprendizagem são condição desta.

Problemas epistemológicos micro/macro, já tão estudados na literatura (Gilbert, 2009), e o problema de visualização podem estar relacionados com a não percepção dos níveis de organização da matéria e isso está intimamente ligado às dimensões classificatória e processual que lidam com duas ontologias diferentes, a ontologia de substância, que trabalha mais com o espaço, induzindo na Química uma visão estática, e a ontologia de processos, que trabalha com a dimensão do tempo e da dinâmica, dando à Química uma outra conceitualização para as entidades e os processos.

Assim, essas dimensões devem ser integradas e pensadas no seu conjunto. Pensando nas tradições da Didática das Ciências,[31] a tradição da mudança conceitual mostra relação com a dimensão classificatória e descritiva da Química, que analisa a ciência do ponto de vista sintático, contudo, os conceitos nucleares da Química ganham sentido na dimensão prática e axiológica (Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2003).

Conclusões

Longe de a relação entre Química e Filosofia ser uma relação pobre e estreita, mostra ser uma relação imensamente rica e complexa e também necessária para o processo de ensino-aprendizagem caracterizado por práticas curriculares e pedagógicas. Identificamos, através

31. Mais propriamente da investigação em Didática das Ciências em que não há atualmente objetivos uniformes e há a considerar as seguintes tradições (Anderson, 2007), todas elas visíveis no panorama atual: tradição da *mudança conceitual*, em que a literacia científica se atinge por compreensão conceitual, tradição *sociocultural*, em que o objetivo a atingir com a literacia científica é a participação numa comunidade de discurso, e a tradição *crítica*, em que a literacia científica visa ao empoderamento (*empowerment*).

da leitura dos artigos e da perspectivação de nossa prática, que a Química atravessa cinco registos filosóficos diferentes, e estes, se quisermos pensar a Química pedagogicamente, têm que se refletir no planejamento (currículo) e na prática letiva (pedagogia). Apresentamos neste artigo uma primeira aproximação, já que os cinco registros foram ensinados e discutidos nas aulas da disciplina e só no fim do corrente ano letivo[32] é que se poderá "medir" o efeito de tal aprendizagem na reestruturação do pensamento químico, e que apenas durante o próximo ano letivo é que poderemos observar o efeito que terá na prática letiva dos alunos que, depois de terem sido sujeitos à aprendizagem dessas dimensões filosóficas da Química, irão iniciar o seu estágio.

Figura 6 – Elementos didáticos

A Química é uma ciência fortemente inscrita em esquemas classificatórios; pensamento diagramático, simbólico, relacional, processual e heurístico; pela razão prática, influenciada por valores estéticos, criação e inovação; e dependente dos instrumentos e técnicas. Influenciado pela Física, o contexto epistemológico da Química e o seu aparelho pedagógico têm escolhido um dos lados das

32. Ano letivo português, julho de 2011.

antinomias químicas: substância/processos; axiomatização à classificação e ao diagramático; o nomotético ao ideográfico; o essencialismo ao relacional e processual. O currículo, orientado pela Filosofia da Química, parece exigir um maior diálogo entre as antinomias e tensões inerentes da Química.

Pensamos que o currículo e a Didática da Química deva identificar-se com as estruturas do pensamento e da práxis química, da forma química de interagir com o mundo. Uma compreensão mais detalhada dessas dimensões oferece ferramentas suficientes para uma *compreensão profunda* e uma coerência entre *pensar, intervir e comunicar* e, assim, a Didática da Química pode ser algo mais que simples metodologia. Partindo da problematização do próprio conteúdo, o currículo poderá integrar práticas inter e transdisciplinares que poderão ter na problematização dos conteúdos o seu fundamento. Pensamos também que a compreensão dessas dimensões possibilite a integração gnoseológica, axiológica, praxiológica e retórica dos conceitos químicos e dos conteúdos escolares em Química, levando necessariamente a que a Educação Química contribua com a uma literacia ou uma alfabetização científica humanista alargada.

Esta inclusão sutil no currículo e práticas pedagógicas das dimensões específicas da Filosofia da Química deverá ser acompanhada por uma mudança mais radical no ensino-aprendizagem de todas as ciências, começar pelos próprios professores e incluir:

1) Uma *ontologia* que não se fixe apenas nos níveis de partículas fundamentais como a tradição fisicalista, ainda muito forte, exige, mas que reconheça a existência de estruturas em todos os níveis desde que dotadas de poder causal. Assim é que surgem como *entidades químicas* os tradicionais compostos, as estruturas dissipativas em sistemas abertos longe do equilíbrio (como as chamas), certos ciclos de reações autocatalíticas que estão na base da auto-organização e, de forma geral, as estruturas coerentes, cujas propriedades funcionem como um grupo, isto é, que exibam fechatura (Del Re, 1998; Earley, 2000, 2003, 2006, 2011).

2) Uma *epistemologia* construtivista (Costa Pereira, 2007, p.99--111) em oposição à positivista, inspirada no defunto positivismo lógico do Círculo de Viena, em que a Ciência aparece como projeto e não objeto do conhecimento, que assenta numa *gnoseologia* fenomenológica e teleológica e numa *metodologia* de *modelação sistêmica* orientada pelo princípio de *ação inteligente* (em vez da modelação analítica condicionada pelo princípio da *razão suficiente* encontrada nas epistemologias positivistas).

3) Um *discurso* contrastante com o cartesiano (Costa Pereira, 2007, p.88-92), que se orientava pelos princípios de evidência, reducionismo, causalidade e exaustividade, orientado pelos princípios de *pertinência, globalismo, teleologismo e agregatividade*

4) Uma *cosmologia* (Earley, 2004) completamente diferenciada daquela da Grécia antiga (organísmica), mas também daquela do Renascimento tardio (mecanística e atomística), esta ainda influenciando muito a percepção da ciência atual e o seu ensino. Essa nova *cosmologia*, talvez mais apropriadamente designada por visão do mundo (*worldview* ou *weltanschauung*), que não hesita em abordar a natureza em toda a sua complexidade nem enjeita o uso da História e das grandes narrativas, assumindo a Ciência, como foi anteriormente dito a propósito da Química, um caráter crescentemente *ideográfico* em prejuízo do anterior figurino nomotético. Para além disso, é a primeira vez na história em que temos uma visão do mundo que é completa, rigorosa e estreitamente ligada às ideias de *auto-organização*, *racionalidade* e *informação* (Artigas, 2000), mas, por outro lado, somos forçados a conceder que a Ciência tem limitações para as quais tem que se transcender pedindo auxílio à Filosofia e adotando alguns pressupostos filosóficos sem os quais a epopeia científica não faz sentido e que são retrojustificados pela atividade científica. Segundo Artigas (2000), opinião que perfilhamos, estes são: o pressuposto *ontológico*, segundo o qual existe uma ordem racional no Universo; o pressuposto *epistemológico*, que consiste em admitir que o homem tem capacidade de compreender essa ordem racional do Universo (ou parte dela) através da sua razão e o pressuposto ético é que tal atividade vale a pena!

Referências bibliográficas

ADÚRIZ-BRAVO, A. *Integración de la epistemología en la formación del professorado de ciencias*. Barcelona, 2001. Tese (doutorado) – Universitat Autonoma de Barcelona.

ANDERSON, C. W. Perspectives in Science Learning. In: ABELL, S. K., LEDERMAN, N. G. (Ed.). *Handbook of research in Science Education*. Nova York: Routledge, 2007.

ARAÚJO NETO, W. N. *Formas de uso da noção de representação estrutural no ensino superior de Química*. São Paulo, 2009. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo.

ARIZA, Y., ADÚRIZ-BRAVO, A. La nueva Filosofía de la Ciencia y la concepción semántica de las teorías científicas en la Didáctica de las Ciencias Naturales. *Educación en Ciencia*. 2011, no prelo.

ARTIGAS, M. *The mind of the universe*. Filadélfia e Londres: Templeton Foundation Press, 2000.

BACHELARD, G. *O pluralismo coerente da Química Moderna*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.

BAIRD, D., SCERRI, E., MCINTYRE, L. (Ed.). *Philosophy of Chemistry*: synthesis of a new discipline. Dordrecht: Springer, 2006.

BENSAUDE-VINCENT, B. Chemistry in the French tradition of Philosophy of Science: Duhem, Meyerson, Metzger and Bachelard. *Studies in History and Philosophy of Science*, v.36, n.4, p.627--848, 2005.

_____. The chemists' style of thinking. *Ber. Wissenschaftsgesch*, n.32, p.365-78, 2009.

_____. *Chemistry as a technoscience*. 2010, no prelo.

BERNAL, A., DAZA, E. E. On the epistemological and ontological status of chemical relations. *Hyle*, v.16, n.2, 2010.

BERNSTEIN, B. *Class, codes and control: the structuring of pedagogic discourse*. v.IV. Londres: Routledge, 1990.

COSTA PEREIRA, D. Epistemologia da Química e estrutura e lógica dos seus discursos. *Química*. Lisboa: SPQ, 1995.

_____. *Nova educação na nova ciência para a nova sociedade*: fundamentos de uma pedagogia científica contemporânea. Porto: Editora da Universidade do Porto, 2007.

DEBUS, A. G. A longa revolução química. *Ciência Hoje*, v.13, n.34, 1991.

DEL RÉ, G. Ontological status of molecular structure. *Hyle*, v.4, n.2, p.81-103, 1998.

EARLEY, J. Varieties of chemical closure. Closure: emergent organizations and their dynamics. In: CHANDLER, J. L. R., VAN DE VIJER, G. (Eds.). *Annals of the New York Academy of Sciences*, n.901, p.122-31, 2000.

_____. On the relevance of repetition, recurrence, and reiteration. In: SOBCZYŃSKA, Danuta, ZEIDLER, Paweł, ZIELONAKA--LIS, Ewa (Eds.). Chemistry in the philosophical melting pot. *Dia-Logos 5 (Frankfurt am Main: Peter Lang)*, p.171-86, 2003.

_____. Would introductory Chemistry courses work better with a new philosophical basis?. *Foundations of Chemistry*, n.6, p.137-60, 2004.

_____. Why there is no water in the sea. *Foundations of Chemistry*, n.7, p.85-102, 2005.

_____. Chemical "substances" that are not "chemical substances". *Philosophy of Science*, n.73, p.841-52, 2006a.

_____. Some philosophic implications of chemical symmetry. In: BAIRD, D., SCERRI, E., MCINTYRE, L. (Eds.). *Philosophy of Chemistry*: synthesis of a new discipline, Boston Studies in the Philosophy of Science. Holanda (Dordrecht): Springer, 2006b.

_____. Three concepts of chemical closure and their epistemological significance, 2010. Disponível em <http://philsci-archive.pitt.edu/5565/>. Acesso em 2011.

ERDURAN, S. Philosophy of Chemistry: an emerging field with implications for Chemistry Education. *Science & Education*, n.10, p.581-93, 2001.

_____, SCERRI, E. The nature of chemical knowledge and chemical education. In: GILBERT, J. K. et al. (Eds.). *Chemical Education*: towards research-based practice. Dordrecht: Springer, 2002, p.7-28.

GILBERT, J. K. Visualization: a metacognitive skill. In: GILBERT, John K. (Ed.). *Science and Science Education*: visualization in Science Education. Holanda (Dordrecht): Springer, 2007. p.9-27.

GILBERT, J. K., TREAGUST, D. F. (Ed.). *Multiple representations in chemical education*. Holanda (Dordrecht): Springer, 2009.

GOIS, J. *Desenvolvimento de um ambiente virtual para estudo sobre representação estrutural em Química*. São Paulo, 2007. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo.

GONÇALVES MAIA, R. As fotografias de difração de raios X e a estrutura molecular. In: DI MARCO, Sílvia, POMBO, O. *As imagens com que a ciência se faz*. Lisboa: Fim de Século, 2010.

GOODWIN, W. M. Structural formulas and explanation in Organic Chemistry. *Foundations of chemistry*, v.10, n.2, 2008.

IZQUIERDO, M. Y., ADÚRIZ-BRAVO, A. Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, v.12, n.1, p.27-43, 2003.

JUSTI, R., GILBERT, J. Models and modelling in chemical education. In: GILBERT, J. et al. (Eds.). *Chemical Education*: towards research-based practice. Dordrecht: Kluwer, 2002. p.47-68.

KOVAC, J. Gifts and Commodities in Chemistry. *Hyle*, v.7, n.2, 2001.

_____. Theoretical and practical reasoning in chemistry. *Foundations of Chemistry*, n.4, p.163-71, 2002.

KOZMA, RUSSEL. Representational competence's profile of pre-service chemistry teachers in chemical problem solving in Science and Science Education. In: GILBERT, John K. (Ed.). *Visualization in Science Education*. Dordrecht: Springer, p.9-27, 2007.

LAMZA, L. How much history can Chemistry take?. *Hyle*, v.16, n.2, p.104-20, 2010.

MCCOMAS (Ed.). *The nature of Science in Science Education*: rationales and strategies. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. (2004). p.83-126.

NEEDHAM, P. Aristotelian Chemistry: a prelude to Duhemian metaphysics. *Studies in History and Philosophy of Science*, n.26, p.251-69, 1996.

NORDHAMM, A. From metaphysics to metachemistry. In: BAIRD, D., SCERRI, E., MCINTYRE, L. (Eds.). *Philosophy of Chemistry*: synthesis of a new discipline, Boston Studies in the Philosophy of Science. Dordrecht: Springer, 2006. p.347-62.

PEIRCE, C. S. *Semiótica*. 3.ed. São Paulo: Perspectiva, 2005.

POMBO, O. Operativity and representativy of the sign in Leibniz. In: POMBO, O., GERNER, A. (Eds.). *Studies in diagrammatology and diagram praxis*. Londres: Colleges Publications, 2010.

_____. *Linguagem e conhecimento em Leibniz*. O que nos faz pensar. I Colóquio Luso-Brasileiro. Leibniz: Linguagem e Metafísica, 2010a. p.99-105.

ROTHBART, D. On the relationship between instrument and specimen in chemical research. *Foundations of Chemistry*, v.1, n.3, p.255-68, 1999.

SCERRI, E. On the Nature of Chemistry. *Educación Quimica*, v.10, n.2, p.74-8, 1999.

_____. Philosophical confusion in chemical education research. *Journal of Chemical Education*, v.80, n.5, p.468-74, 2004.

SCHUMMER, J. Towards a Philosophy of Chemistry. *Journal for General Philosophy of Science*, v.28, p.307-35, 1997.

_____. Scientometric Studies on Chemistry I: the exponential growth of chemical substances, 1800-1995. *Scientometrics*, v.39, p.107-23, 1997a.

_____. Coping with the growth of chemical knowledge: challenges for chemistry documentation, education, and working chemists. *Educacion Química*, v.10, n.2, p. 92-101, 1999.

SCHWAB, J. J. The teaching of Science as enquiry. In: SCHWAB, J., BRANDWEIN, P. (Eds.). *The teaching of Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, p.1-103, 1966.

SEIBERT, C. Charley Peirce's head start in Chemistry. *Foundations of Chemistry*, v.3, n.3, p.201-6, 2001.

SHULMAN, L. S. Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, v.15, n.2, p.4-14, 1987.

SJÖSTRÖM, J. Beyond classical Chemistry: subfields and metafields of the molecular sciences. *Chemistry International*, n.28, p.9-15, set.-out. 2006.

SPECTOR T. I. *The Aesthetics of Molecular Representation*: From the Empirical to the Constitutive Foundations of Chemistry, v.5, n.3, p.215-36, 2003.

TABER, K. S., WATTS, M. Learners' explanations for chemical phenomena. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, v.1, n.3, p.329-53, 2000.

TANNER, D., TANNER, L. *Curriculum development*: *theory into practice*. Nova Jersey: Englewood Cliffs, 1995.

VAN BRAKEL, J. On the neglect of the Philosophy of Chemistry. *Foundations of Chemistry*, v.1, p.111-74, 1999.

_____. *Philosophy of Chemistry:* between the manifest and the scientific image. Leuven: Leuven University Press, 2000.

_____. Kant's legacy for the Philosophy of Chemistry. In: BAIRD, D. et al. (Eds.). *Philosophy of Chemistry*. Dordrecht: Springer, 2006. p.69-91.

VIHALEMM, V. Philosophy of Chemistry and the image of science. *Foundations of Science*, v.12, n.3, 2007.

WANDERSEE, J. H., GRIFFARD, P. B. The History of Chemistry: potential and actual contribution to Chemical Education. In: GILBERT, J. et al. (Eds.). *Chemical Education*: towards research-based practice. Holanda (Dordrecht): Kluwer, 2002. p.29-46.

WHITEHEAD, A. N. *Process and reality*. Edit. D. Griffin e Sherburne. Nova York: Macmillan, 1978 (1929).

3

A História da Ciência no ensino de Química: uma leitura kuhniana do conceito de substância

Leandro Henrique Wesolowski Tavares[1]
Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani[2]

Introdução

Para o desenvolvimento deste texto, vamos nos fundamentar na epistemologia de Kuhn (2005), por ser uma perspectiva filosófica que oferece subsídios para compreendermos a transitoriedade dos conhecimentos produzidos pela Ciência. Mas, apesar de trabalharmos com as concepções desse filósofo, apresentamos dois contrapontos à epistemologia kuhniana.

O primeiro é referente à concepção de paradigma. Conforme é destacado por Masterman (1979) apud Ostermann (1996), Kuhn apresenta 22 concepções diferentes para o termo paradigma em sua primeira obra – *A estrutura das revoluções científicas*, publicada em

1. Mestre em Educação para a Ciência pela UNESP/Bauru – 2010. Docente na Universidade Metodista de Piracicaba e membro do Núcleo de Educação em Ciências (NEC) dessa Instituição.
2. Doutora em Educação pela UFSCAR/São Carlos – 2006. Docente do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência – UNESP/Bauru.

1962. Com a percepção das confusões geradas, o autor acaba esclarecendo o termo no Posfácio da edição de 1969.

Nesse sentido, trabalharemos com a concepção paradigmática enunciada no Prefácio da nona edição da obra de Kuhn (2005, p.13): "Considero 'paradigmas' as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência".

O segundo aspecto faz referência à dimensão social da Ciência, que não é abordado em *A estrutura das revoluções científicas*. Contudo, em outras obras, Kuhn revela a existência e a importância dos aspectos sociais.

> A necessidade de uma condensação rápida forçou-me igualmente a abandonar a discussão de um bom número de problemas importantes. [...] Mais importante ainda, com exceção de breves notas laterais, eu nada disse a respeito do papel do avanço tecnológico ou das condições sociais, econômicas e intelectuais externas no desenvolvimento das ciências. Contudo, não é preciso ir além de Copérnico e do calendário para descobrir que as condições externas podem ajudar a transformar uma simples anomalia numa fonte de crise aguda. [...] Penso que a consideração explícita de exemplos desse tipo não modificaria as teses principais desenvolvidas neste ensaio, mas certamente adicionaria uma dimensão analítica primordial para a compreensão do avanço científico. (Kuhn, 2005, p.14-5)

Neste artigo, trabalharemos com elementos da epistemologia kuhniana (paradigmas, anomalias, crises e revoluções científicas) somados à dimensão social da Ciência, para reconstruir historicamente a concepção de substância. A escolha dessa temática se deve à relevância do conceito de substância. Conforme destaca Silveira (2003, p.75), "o conceito de substância, diretamente relacionado ao conhecimento da matéria, é a base da Ciência Química, já

que esta é considerada a ciência que estuda as transformações dos materiais".

Nesse sentido, a compreensão do conceito de substância é fundamental, servindo de pilar-base para a Ciência Química e, também, para o ensino de Química, uma vez que é determinante para a (re)construção e compreensão dos conteúdos e conceitos químicos que fazem parte dos currículos escolares, como elemento químico, tabela periódica, transformações químicas, ligações químicas, etc.

Além de sua importância enquanto pilar-base para a compreensão de outros conceitos químicos, a escolha pela temática "substância" também foi baseada na riqueza histórico-epistemológica que envolve esse conceito ao longo dos anos (Silveira, 2003).

Reconstrução histórica do conceito de substância

Conforme sugestão de Chassot (1994), buscamos reconstruir o conceito de substância a partir da Grécia Antiga, período (século VI a.C.) que apresenta a construção de ideias organizadas que tentavam entender o mundo. Nessa empreitada, os gregos se caracterizam pela busca de conhecimentos de outras culturas, pelo empenho na reflexão, na argumentação e na dialética.

Para a elaboração do conhecimento grego, destacamos o cenário anterior que forneceu as bases para esse processo. Assim, a civilização micênica (1700 a 110 a.C.), estruturada em palácios e numa economia ligada à agricultura e ao artesanato, entendia o rei como o representante dos deuses entre os homens. Porém, em torno de 1200 a.C., os dórios (outro grupo grego) começaram a se fixar na Grécia e provocaram mudanças significativas nesse período (denominado homérico). Sua organização era baseada no *gènê* (instâncias de organização em que todos os membros descendiam do mesmo antepassado), não havendo referência a um único deus e aos palácios (Andery, Micheletto & Sério, 2001a).

Dentro desses *gènês* e *fratrias* (que eram também instâncias de organização), o cidadão que possuía a melhor genealogia era escolhido como o rei. Nessa nova estrutura, os chefes dos *gènês* e *fratrias* compunham o conselho das cidades e respondiam pelas ações políticas, militares e econômicas que deveriam passar pela assembleia, a qual reunia todos os cidadãos daquela cidade (Andery, Micheletto & Sério, 2001a).

O período grego posterior, denominado *arcaico*, compreendeu os séculos VII e VI a.C. e foi marcado pelo desenvolvimento das pólis (ou cidades-Estado), que eram unidades econômicas, políticas e culturais independentes. Nesse contexto da pólis, o cidadão (aquele que não fosse mulher, escravo ou estrangeiro) poderia participar nas decisões e organização da sociedade, uma particularidade da cidadania e democracia atingida como reflexo da identidade política. Andery, Micheletto & Sério (2001b, p.35) ainda lembram o resultado dessa peculiaridade:

> O desenvolvimento da pólis constituía, assim, fator fundamental para o nascimento do pensamento racional; criava as condições objetivas para que, partindo do mito e superando-o, o saber fosse racionalmente elaborado e para que alguns homens pudessem se dedicar à elaboração desse saber.

As transformações sociais e circunstâncias peculiares foram os aspectos essenciais para o rompimento com o mito. Aspectos como a aceitação de grupos de diferentes nacionalidades e o intercâmbio com outros países foram fundamentais para o rompimento de certas tradições (Andery, Micheletto & Sério, 2001b).

O período denominado *clássico* na Grécia (séculos V e IV a.C.) demonstrou grande desenvolvimento econômico e político de algumas cidades-Estado, como Atenas. Nesse período, houve a consolidação da cidadania, apesar de o sistema ainda adotar a escravidão. Entre os cidadãos proprietários de terras, também podemos encontrar a sociedade composta por escravos e estrangeiros (gregos de outras cidades e os bárbaros – a maioria eram artesãos e merca-

dores). A quantidade elevada de estrangeiros reestruturou a concepção de cidadão, que passava a ser o indivíduo nascido de pais gregos. Quanto a esse período, Andery, Micheletto & Sério (2001c, p.59) destacam:

> Todo o desenvolvimento de Atenas e a crise vivida pela cidade transformaram-na na cidade grega mais importante do período. Sua importância militar, econômica e política refletiu-se em sua vida cultural e intelectual, e Atenas transformou-se em importante centro de debates e de efervescência política e cultural. À cidade acorriam os homens interessados nas artes e na filosofia e aí permaneciam os atenienses que se preocupavam com tais questões. Como resultado, a cidade conheceu, nesse período, um surpreendente desenvolvimento das artes, da ciência e filosofia.

Podemos constatar a relevância desse período (Grécia Clássica) na produção cultural de três pensadores: Sócrates, Platão e Aristóteles, que exerceram grande influência no desenvolvimento da Filosofia e da Ciência.[3] Assim, ao traçarmos um panorama histórico do desenvolvimento do conceito de substância no período clássico, Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.) apresenta contribuições quanto a esse conceito.

Na visão de cosmos de Aristóteles, a Terra, um planeta imóvel, seria o centro do Universo, rodeada pelos demais corpos celestes que realizariam círculos perfeitos ao seu redor. Nessa visão, haveria a divisão em mundo sublunar (a Terra e o espaço entre ela e o orbe lunar) e mundo supralunar (contendo os corpos celestes) (Frezzatti Jr., 2005).

Todos os objetos da Terra (mundo sublunar) seriam compostos pelos quatro elementos, com um movimento retilíneo, podendo dirigir-se para o centro da Terra (objetos compostos por terra e/ou

3. O termo Ciência não existia nesse período, mas o tomaremos para expressar as esferas teórico-filosóficas que compreendem uma grande faixa da história conhecida como Filosofia Natural.

água) ou no sentido oposto ao centro da Terra (objetos compostos por ar e/ou fogo). Em contrapartida, os corpos celestes e "os orbes (esferas nas quais os corpos celestes estão fixados) [...] constituem o mundo supralunar que é composto por apenas uma única substância: o éter ou a quinta-essência". Nessa visão, as coisas compostas pelos quatro elementos eram imperfeitas e, portanto, poderiam sofrer transformações, enquanto a única substância do mundo supralunar, o éter, era imutável, logo perfeita e eterna (Frezzatti Jr., 2005, p.145).

A concepção aristotélica dos elementos atribui qualidades (quente, frio, seco e úmido) aos quatro elementos (ar, água, terra, fogo). "Cada elemento é constituído por duas qualidades e as transformações da matéria ocorreriam por mudanças de qualidades." Assim, por exemplo, o ar, que é *quente* e úmido, ao ser esfriado poderia ser transformado no elemento água (que é úmido e *frio*) (Frezzatti Jr., 2005, p.144).

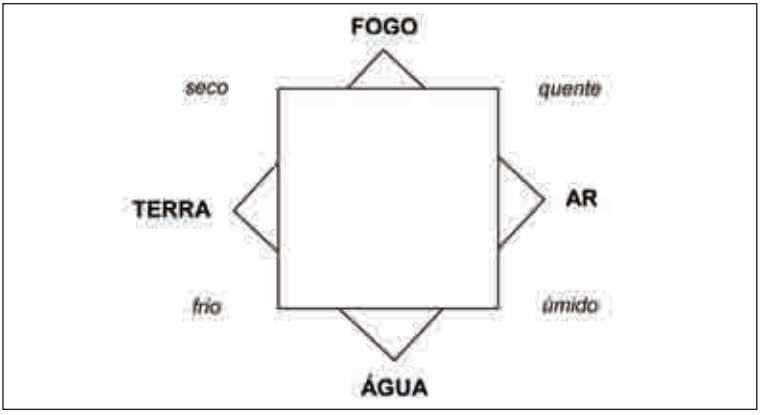

Figura 1 – Transformações da matéria

Fonte: Frezzatti Jr. (2005, p.144).

As ideias divulgadas por Aristóteles, nos mais diversos campos, foram aceitas e respeitadas durante muito tempo, como em Alexandria, fundada em 331 a.C. após a conquista do Egito por Alexandre

Magno. Da *fusão* entre tradições como a apurada técnica do Egito, a indagação da natureza pelos filósofos gregos e as influências do Oriente surgiu uma nova forma de pensar e trabalhar a matéria experimentalmente – a *alquimia*[4] (Filgueiras, 2002).

O movimento alquímico, ao reconhecer a concepção de substrato único da matéria de Aristóteles, entendia que a diferenciação entre dois corpos devia-se às propriedades externas (as qualidades – quente, frio, seco, úmido). Dessa forma, um corpo poderia ser transformado em outro a partir do trabalho sobre as quatro qualidades da matéria.

Dentro dessa perspectiva, os alquimistas se interessaram pela transformação da matéria, principalmente na tentativa de transformar metais sem valor econômico em ouro, ação conhecida como *transmutação*. Em busca de tal perspectiva, os alquimistas realizavam uma vasta quantidade de transformações químicas em torno das substâncias e dos materiais.

Os escritos de Zózimo (século IV d.C.) caracterizam bem a tradição da alquimia alexandrina, entendendo que esta deveria transformar os metais em ouro (por sua morte e ressurreição). Para alcançar essa meta, menciona a existência de uma substância (existindo nomes que a designam como tintura, elixir e, posteriormente, pedra filosofal) que permitiria a transmutação dos metais vis ou doentes em ouro (identificado nesse momento por sua cor brilhante) (Alfonso-Goldfarb, 2001; Bensaude-Vincent & Stengers, 1992).

A alquimia acaba se estendendo até os árabes, por volta do século VIII, com a tradução dos textos gregos. Os processos e métodos, de forma geral, acabam sendo melhorados pelos árabes. As suas vidrarias, tinturarias, produção de ligas metálicas, sofrem

4. O termo "alquimia" revela uma origem obscura, sem consenso quanto às suas raízes. Essa nova doutrina filosófica se manifesta durante a queda do Império Romano e perpassa a Idade Média, reunindo aspectos como símbolos, mistérios, além de sábios, filósofos, mágicos e charlatães (Berthelot apud Farias, 2007).

aprimoramentos e, com isso, as reações químicas são processadas com melhores resultados.

Foi no final do século XI que houve uma abertura entre a cultura árabe e a cultura europeia; assim, na reconquista pelos cristãos dos territórios tomados pelos árabes, ocorre uma tradução de textos árabes, resultando no acesso da cultura europeia "aos textos gregos de Aristóteles, Ptolomeu, Euclides, dos médicos gregos, de Avicena, de astrônomos, astrólogos, matemáticos e alquimistas" (Chassot, 1994, p.65-6).

Antes do contato com a cultura árabe/grega, a produção cultural europeia pouco crescera no período conhecido como Idade Média (séculos V a XV), principalmente pelas condições produzidas pelo cenário anterior a esse período. Como lembram Rubano & Moroz (2001), nos séculos III e IV houve a interrupção da política expansionista do Império Romano, a mão de obra escrava tornou-se escassa, o que, por sua vez, reduziu a produção agrícola e artesanal, provocando o empobrecimento da população. Esses fatores fizeram com que os grandes proprietários se mudassem para suas propriedades rurais, arrendando parte de suas terras a agricultores livres que, em troca, deveriam entregar parte da produção, além de pagarem tributos e impostos.

Nesse cenário, a terra passa a ser essencial para a economia, instaura-se o feudalismo com a relação senhor-servo. Assim, a produção de subsistência (feudos autossuficientes) ganha destaque e as cidades perdem a sua importância com o processo de ruralização. Com essas condições, praticamente não há desenvolvimento científico, mas sim avanços técnicos de caráter prático para as atividades agrícolas. Esse aspecto é reforçado pela Igreja católica, que, com o fim da escravidão, defende a igualdade entre todos os homens. Em busca de salvação, o número de adeptos cresce ligeiramente, o que se reflete na doação de terras para essa instituição. Com grande ascensão, essa religião passa a ser a grande responsável pela produção, veiculação e manutenção de ideias (Rubano & Moroz, 2001).

A partir do século XI retoma-se o crescimento das cidades, possivelmente por fatores como a intensificação do comércio, a pro-

dução de excedentes, o crescimento populacional e o contato com civilizações orientais. Dessa forma, foram criadas condições financeiras para a realização das Cruzadas, a construção de catedrais e a fundação das universidades (Rubano & Moroz, 2001).

As Cruzadas foram as grandes responsáveis por difundir a cultura entre o Ocidente e o Oriente. Foram realizadas oito cruzadas com a finalidade de expulsar os árabes das terras santas, sendo a primeira em 1096 e a última em 1270. Além de recuperar Jerusalém, que tinha sido conquistada pelos árabes no século VII, havia motivos ligados à expansão territorial, a um local para troca de produtos manufaturados e a saques – envolvendo interesses religiosos, políticos, comerciais e militares (Chassot, 1994).

Da mesma forma que ocorreu uma grande transferência das práticas, técnicas e equipamentos da alquimia grega para a alquimia árabe, houve o mesmo movimento da alquimia árabe para a alquimia cristã. Assim, a alquimia, ao se defrontar com diferentes povos, soube se adaptar conforme o contexto cultural de cada civilização, tentando responder, portanto, de maneiras diferentes e eficazes às necessidades culturais às quais era exposta.

Podemos notar isso na Europa do século XIV, marcada por guerras, fome e pela peste bubônica (peste negra) que dizimou um terço da população. Assim, Alfonso-Goldfarb (2001) destaca a necessidade da utilização do saber das grandes civilizações passadas ao momento de carência então vivido na Europa, porém adequando-o às exigências urgentes, ou seja, direcionando esses conhecimentos para a medicina. Nesse cenário, segundo Porto (1997, p.569), podemos encontrar a adaptação da teoria dos quatro elementos:

> A teoria médica mais difundida na época via o corpo humano saudável como o resultado do perfeito equilíbrio entre os quatro *humores* que o constituiriam. Estes humores estariam relacionados com a clássica doutrina dos *quatro elementos* e *quatro qualidades primárias*. Assim, os quatro humores, e as quatro qualidades respectivamente predominantes em cada um deles, seriam: sangue (quente), fleuma (úmido), bílis amarela (seco) e bílis negra (frio).

Em meio a esse cenário, encontramos Paracelso (1493-1541), alquimista suíço notório que iniciou o combate a algumas doenças com o uso de substâncias químicas isoladas, além do fato de ser um dos precursores da homeopatia (Frezzatti Jr., 2005). Seu interesse estava voltado à preparação de medicamentos a partir de substâncias naturais, de origem mineral ou vegetal, e, assim como grande parte dos alquimistas, acreditava que os minerais cresciam e se desenvolviam na terra, sendo um processo que o homem poderia imitar pela aceleração ou adaptação desses processos naturais (Mason, 1964).

Paracelso desconsiderava a concepção advinda da Grécia Antiga que acreditava nos quatro elementos fundamentais, entendendo que o homem seria constituído por três princípios: sal, enxofre e mercúrio. Uma doença seria o desequilíbrio entre os três princípios, mas poderia ser eliminada por remédios minerais. Assim, foram produzidos vários remédios inorgânicos por ele e seus adeptos, como o uso de ferro para pacientes com anemia, mas "sem esquecer de adicionar uma pequena dose de sangue, porque o ferro se achava ligado a Marte, o planeta vermelho, deus da guerra, do sangue e do ferro" (Mason, 1964, p.182).

Segundo Paracelso, a matéria deveria ser entendida da mesma forma que a religião, representada por uma tríplice complexidade, uma vez que o Criador era três pessoas em uma só (Pai, Filho e Espírito Santo). Mason (1964, p.185) ainda cita um trecho de Paracelso: "Esses três princípios são a matéria inicial e possuem um só nome: Deus. E como na Divindade existem três pessoas, assim também cada princípio é separado quanto à função; mas estas três estão compreendidas sob o nome único de primeira matéria".

Esse alquimista suíço passou a defender que todos os objetos da natureza teriam como componentes fundamentais esses três princípios, cada um responsável por determinadas propriedades da matéria. "O *enxofre* tornaria os corpos mais, ou menos, combustíveis, e lhes daria substância e estrutura. O *mercúrio* daria aos corpos fluidez, elasticidade e volatilidade. O *sal* forneceria cor, solidez e imutabilidade à matéria" (Porto, 1997, p.570). Mas Oki (2002) destaca que o enxofre e o mercúrio eram princípios abstratos, de

acordo com uma concepção metafísica de elemento, e, portanto, não deviam ser pensados como as substâncias da natureza que carregam esses mesmos nomes.

Entre os adeptos dos ideais revolucionários de Paracelso na medicina, podemos destacar o médico belga Joan Baptista van Helmont (1579-1644), que demonstrou interesse pela experimentação e pela Química Fisiológica (Chagas, 1986). Porém, como lembra Porto (1997), Van Helmont elimina de seu sistema a noção dos três princípios, entendendo que o enxofre, o mercúrio e o sal não poderiam ser as substâncias primordiais responsáveis pela formação de todas as outras substâncias. Dessa forma, Van Helmont acaba adotando a água como elemento primordial. Conforme Mason (1964, p.186), a escolha do elemento água também foi apoiada em questões teológicas, pois a Bíblia mencionava a água como o *"caos primevo*, antecedente ao resto da Criação".

A utilização da balança também foi característica importante do trabalho de Van Helmont. A partir da balança, esse belga conseguiu determinar que sobrava apenas uma libra de cinza quando 62 libras de madeira de carvalho eram queimadas. Assim, entendeu que essas 61 libras formavam um espírito invisível, o qual denominou pelo nome de gás, identificando que o gás carbônico poderia ser obtido de várias fontes (na reação de um ácido com um carbonato presente nas minas, na combustão, nas putrefações e fermentações) (Chagas, 1986).

Além das contribuições de Van Helmont, Chagas (1986) destaca que o século XVII é marcado por uma grande quantidade de experimentos e uma variedade enorme de fatos descobertos que se tornaram aspectos fundamentais para a transição da alquimia à Química. Assim, personagens como Paracelso, Van Helmont, Robert Boyle, Nicolas Lemery foram determinantes no caminhar de um novo esquema teórico-experimental rumo ao rompimento com o movimento alquímico. De acordo com Alfonso-Goldfarb (2001, p.155):

> No século XVII, os embates renascentistas contra as chamadas "autoridades" do conhecimento acabaram por causar fissuras irre-

> cuperáveis no antigo sistema cosmológico. Será, sobretudo, na estrutura aristotélica engendrada pelos escolásticos, nervura central deste sistema, que a ruptura maior se dará. Perdendo sua força explicativa da natureza, torna-se necessária a formulação de uma nova maneira de interpretar o mundo, condizente e consoante com os apelos da época.

Essa época é caracterizada por um processo de transição do feudalismo ao capitalismo, principalmente entre os séculos XV, XVI e XVII, quando ocorre a formação de Estados nacionais unificados na Europa em detrimento da descentralização feudal. Essa transição é acompanhada por um processo de mudança de ideias, alterações na forma de pensar o universo, até então ligada às concepções aristotélicas. Assim, desgasta-se a visão teocêntrica (relação Deus-homem) com a instauração de uma nova forma de pensar e explicar as relações homem-natureza, com a possibilidade de o homem entender e transformar a realidade. Pereira & Gioia (2001, p.177) ainda completam:

> A nova visão de mundo, instaurada nesse período de transição, era mecanicista. Galileu [1564-1642] e Newton (1642-1727), importantes construtores dessa nova visão, perceberam as dimensões matemáticas e geométricas dos fenômenos da natureza e propuseram leis do movimento, leis essas mecânicas. Descartes (1596-1650) também se preocupou com as leis do movimento e tratou toda a natureza, inclusive o corpo do próprio homem, seguindo o modelo mecanicista.

As formas de produção, obtenção e validação do conhecimento, ou seja, os aspectos metodológicos, também precisaram ser repensados, distanciando-se da fé e da crença contempladas anteriormente. Apesar de a ênfase metodológica mudar entre os diferentes pensadores e estudiosos que instauraram a Ciência Moderna, pode-se notar a relevância de recursos como a razão, a experimentação, a observação e os fatos para a elaboração, aceitação ou rejeição

de leis naturais que explicassem os fenômenos (Pereira & Gioia, 2001).

No campo da Química, fatores como o desenvolvimento de técnicas analíticas na metalurgia e o uso de substâncias químicas na medicina, somados às investigações empíricas sobre análise e síntese dos filósofos mecanicistas no século XVII, contribuíram para levantar dúvidas sobre a ideia aristotélica de elementos, o que se refletiu no trabalho via definição operacional das substâncias, entendendo-as como um conjunto de propriedades físicas e químicas características (Furió & Domínguez, 2007).

Destacamos Boyle entre aqueles que conseguiram estabelecer rompimentos com o antigo sistema cosmológico. Seus trabalhos revelam a refutação dos elementos e dos princípios alquímicos, mostrando pela análise química que existiam mais componentes básicos em algumas substâncias do que três princípios ou quatro elementos, ou seja, ao decompor determinada substância, a análise indicava a existência de mais substâncias do que três ou quatro componentes básicos.

Boyle concebia as substâncias como elementos que não poderiam ser decompostos, responsáveis pela constituição das misturas. Porém, estas últimas sim poderiam ser decompostas. Bensaude-Vincent & Stengers (1992, p.53) ainda destacam as ideias por ele divulgadas:

> Chamo agora elementos certos corpos primitivos e simples, perfeitamente puros de qualquer mistura; que não são constituídos por nenhum outro corpo, ou uns pelos outros, que são os ingredientes a partir dos quais todos os corpos que chamamos misturas perfeitas são compostos de modo imediato, e nos quais estes últimos podem ser finalmente resolvidos.

Dessa forma, sua importância foi indicar que os materiais da Terra poderiam ser formados "por misturas (de substâncias) ou por uma única substância que, por sua vez, podia ser *um corpo perfeitamente sem mistura* (substância simples) ou *um corpo perfeitamente*

misturado (substância composta)" (Holton & Roller, 1963 apud Furió & Domínguez, 2007, p.242, tradução nossa).

No modelo aristotélico-escolástico não havia a designação do conceito de *substância*, uma vez que se acreditava na existência de sistemas materiais terrestres a partir da mistura de elementos ideais. A proporção das qualidades imprimidas por esses elementos é que diferenciava qualitativamente os materiais semelhantes ou mesmo os diferentes (Furió & Domínguez, 2007).

Todavia, ao incorporar os ideais do mecanicismo cartesiano, Boyle entende a "diversidade dos corpos e suas modificações através da desigualdade de forma, grandeza, estrutura e movimento (no vácuo) de corpúsculos". Essa concepção de matéria ligada à agregação de partículas e movimento foi essencial para o desenvolvimento da Química no que concerne à visão científica/racional da transformação da matéria e o fornecimento de pilares para a matematização e quantificação dos conceitos ligados à transformação da matéria (Frezzatti Jr., 2005, p.141). O trabalho de Boyle reinterpretou as reações ainda ligadas à ideia de transmutação, entendendo que "tais reações apresentavam o processo de reorganização corpuscular que deve estar na base de toda transformação química" (Kuhn, 2005, p.65).

O século posterior (XVIII), assim como o século XVII, apresentou grande desenvolvimento quanto aos processos laboratoriais, equipamentos, ideias e construção de teorias com um grande poder de explicação.

No caminhar dos séculos XVII e XVIII encontramos ainda a Química, Teórica e Prática, ligada à medicina, apesar de aos poucos conquistar certa independência. Hankins (2002, p.83) lembra que esse foi um processo lento, e alerta:

> A química industrial ampliava os conhecimentos químicos provenientes da medicina. A Revolução Industrial aumentou consideravelmente a procura de certas substâncias químicas, como os álcalis e os ácidos minerais, e a pesquisa de melhores métodos de fabrico provocou o desenvolvimento de novas técnicas na metalurgia, na

cerâmica e nos têxteis, especialmente na coloração e no branqueamento de tecidos. Lavoisier fazia parte integrante desta tradição. As suas investigações sobre o gesso, sobre os métodos de iluminação das ruas de Paris e sobre a pólvora revelam a sua abordagem prática ao estudo da química.

Mas, no campo dos estudos teóricos, também nos deparamos com avanços importantes, como a teoria do flogisto, que surgiu na Alemanha, local no qual a Química estava associada à exploração mineira e à metalurgia. Essa teoria foi elaborada por Stahl na sua obra *Specimen beccherianum*, de 1703 – livro baseado nos trabalhos de Becher (Hankins, 2002).

Para Stahl, a matéria (de origem animal, vegetal e mineral) possuía um princípio (flogisto) responsável pela combustão. O álcool, por exemplo, era composto de água e flogisto. Assim, a sua combustão ocasiona a perda do flogisto, restando apenas água. Na mesma linha de raciocínio, o carvão, por ser rico em flogisto, produz poucas cinzas e grande desprendimento de flogisto quando submetido à combustão (Filgueiras, 2002).

O flogisto também conseguia explicar o processo de oxidação, chamado naquele período de calcinação. Por exemplo, o metal calcinado (oxidado) ao ar perde o seu flogisto e se transforma em uma cal metálica (óxido de ferro). Assim, acreditava-se que o óxido de ferro poderia ser convertido em ferro metálico por meio de sua exposição a altas temperaturas com carvão. A queima do carvão liberaria flogisto, o qual seria absorvido pelo óxido de ferro, reconstituindo o ferro metálico (Bensaude-Vincent & Stengers, 1992; Filgueiras, 2002).

A teoria do flogisto foi muito importante nesse período, conseguindo englobar a explicação para vários fenômenos, porém suas bases teóricas apresentavam alguns entraves. Admitia-se que na combustão das substâncias havia a liberação de flogisto. Entretanto, como explicar o caso da combustão do estanho, do fósforo e do mercúrio, que liberavam o flogisto, mas o produto final era mais pesado que o reagente inicial? Algumas hipóteses consideravam o

flogisto como tendo massa negativa, explicando o fenômeno em questão (Filgueiras, 2002). De qualquer forma, o peso não fazia parte das preocupações desse período e essa teoria serviu como inspiração para interpretar e explicar muitos fenômenos.

Contudo, como lembra Hankins (2002, p.94), essa teoria não foi adotada de forma generalizada. Os livros mais populares da França na primeira metade do século XVIII (obras de Boerhaave e Lemery) não apresentavam discussões sobre o flogisto. "No entanto, por volta de 1750, as crescentes exigências da indústria, especialmente no campo da metalurgia, começaram a despertar uma maior atenção pelos textos de química alemães, muitos dos quais foram traduzidos para o francês entre 1750 e 1760". Nesse cenário, novos livros foram traduzidos e escritos com a influência dessa nova teoria, que começava a conquistar os químicos franceses.

Como resultado, grande parte dos químicos aderiu a essa teoria até os fins do século XVIII, quando surge uma nova explicação construída por Antoine Laurent Lavoisier. Esse francês, apoiado em trabalhos como o de Black, Priestley e Cavendish, rompeu com a ideia vigente nesse período que via a água como um elemento, mostrando que ela poderia ser decomposta em elementos mais simples ou "princípios" constituintes da matéria, resultando na definição operacional de substâncias simples e compostas (Silveira, 2003).

A ideia de *substância simples*, que não pode ser decomposta, começou a despontar no século XVII, "mas esta definição operacional não se fez efetiva até que foi proposta por Lavoisier". Assim, a perspectiva filosófica do empirismo instituiu a possibilidade de classificação entre substâncias simples (indecomponíveis experimentalmente) e substâncias compostas ("elementos" ou substâncias elementares combinadas) (Fernández, 1999 apud Furió & Domínguez, 2007, p.245). Mas, para essa transição, vamos resgatar o desenvolvimento dessa nova concepção a partir dos trabalhos de Lavoisier e seus contemporâneos.

A partir desse período, os trabalhos de Lavoisier e outros químicos foram fundamentais para lançar as bases de uma nova Química.

Nesse período há uma nova preocupação dos químicos: estudar e reconhecer uma variedade de "ares", formando uma nova classe de corpos. Para tanto, o laboratório teve que se modificar, introduzindo equipamentos que conseguissem recolher esses "ares" para estudá-los (Fauque, 1995). A cuba pneumática inventada por Stephen Hales (1677-1761) acabou sendo de grande valia para o recolhimento e estudo dos gases, consistindo de uma "tina cheia de água sobre a qual se inverte um balão também cheio de água. O gás que se produz chega ao balão invertido por um tubo e desloca a água que ele contém, podendo assim ser coletado para uso posterior" (Filgueiras, 2002, p.54).

"Tradicionalmente, os químicos prestavam pouca atenção ao ar. As suas receitas diziam-lhes como fazer sólidos e líquidos, mas aquilo que subia pela chaminé não fazia parte da receita" (Hankins, 2002, p.85). Mas, apesar de suas investidas na recolha e no cálculo de medidas do "ar" (produtos gasosos) obtido com a ação do calor, Hales nunca considerou que o "ar" poderia mudar entre diferentes experiências.

Joseph Black, segundo Hankins (2002), foi a primeira pessoa que identificou um ar diferente do ar atmosférico. Após defender a sua tese de doutorado em Medicina em 1754, publicou suas experiências com mais detalhes na *Philosophical Society* de Edimburgo em 1756, sob o título "Experiências sobre magnésia alba, cal viva e algumas outras substâncias alcalinas".

Suas pesquisas buscavam um medicamento que conseguisse dissolver pedras dos rins. Nesse período, a água de cal (hidróxido de cálcio) desfrutava de *status* como medicamento para tratar essa enfermidade, sendo produzida por um processo que, inicialmente, aquecia a pedra de cal ou conchas de bivalves (carbonato de cálcio) ao ar. Como resultado era encontrada a cal viva (óxido de cálcio), que, posteriormente, era dissolvida em água para transformar-se em água de cal (Hankins, 2002).

> A produção de cal viva e de pedra de cal em fornos de cal constituía um processo industrial antigo e importante. A cal viva era utilizada

> no fabrico do cimento e na produção de outros álcalis, que, por sua vez, tinham utilizações industriais importantes, como o fabrico de sabão. Assim, a importância deste debate ultrapassava a mera utilização da água de cal em medicina. (Hankins, 2002, p.89)

Mas, em seguida, Black acabou debruçando-se sobre o estudo da magnésia alba ($MgCO_3$ – carbonato de magnésio), substância alcalina que começara a ser usada havia pouco na medicina (Hankins, 2002). Ele conseguiu demonstrar que existia um ar fixado (dióxido de carbono – CO_2) na magnésia alba, o "ar fixo" de Hales, sendo retirado desse calcário a partir do seu aquecimento. As características desse ar fixado (não sustentava a combustão, não permitia a vida) eram reveladoras para esse período, uma vez que se acreditava no ar como um único elemento (teoria dos quatro elementos) (Fauque, 1995).

Em outro contexto de estudos, o inglês Henry Cavendish (1731--1810) também isolou e caracterizou (1766) um tipo de gás, o *ar inflamável* (hidrogênio), a partir de um equipamento semelhante à cuba pneumática de Hales. Esse *ar* era obtido quando se reagia ácido sulfúrico ou clorídrico com alguns metais, como o ferro, o zinco ou o estanho (Filgueiras, 2002).

Joseph Priestley também estudou os "ares" em vários aspectos, inclusive nas diferentes formas de obtenção do ar fixo. Seus estudos levaram-no à produção artificial da água com gás, extraída anteriormente apenas de fontes naturais. Nesse período, essa água era entendida como dotada de benefícios médicos (mais precisamente na prevenção do escorbuto) e, assim, publicou um folheto em 1772, "Instruções para impregnar água com ar fixo". Ainda nesse ano, publicou suas experiências pneumáticas, sob o título *Observações sobre diferentes tipos de ar*. Assim, Hankins (2002, p.92) revela que, entre 1772 e 1774, Priestley obteve vários ares:

> Conseguiu obter "ar nitroso" (óxido nítrico), "ar ácido marinho" (cloreto de hidrogénio), tendo descoberto posteriormente o "ar alcalino" (amoníaco), o "ar vitriólico" (dióxido de enxofre), o "ar

nitroso flogisticado" (óxido nitroso ou "gás do riso") e o "ar desflogisticado" (oxigénio). Os nomes que Priestley atribuiu a estes dois últimos ares baseavam-se na teoria do flogisto da combustão, então dominante.

Outro personagem que estudou os "ares" foi Carl Wilhelm Scheele que, em 1772, aqueceu o dióxido de manganês e isolou um gás, o *ar do fogo* (oxigênio). Ao responder a uma carta de Lavoisier, aproveitou para pedir ao amigo que repetisse sua experiência para a obtenção do ar do fogo através da decomposição do carbonato de prata com suas lentes ardentes e lhe informasse os resultados, mas Lavoisier nunca respondeu a essa carta (Filgueiras, 2002).

No estudo com os "ares", em 20 de fevereiro de 1772, Lavoisier anotou como registro uma espécie de plano de trabalho que deveria seguir, relatando as inúmeras experiências que pretendia realizar apoiado nas pesquisas anteriores de grandes nomes relacionados aos estudos dos fluidos elásticos que se desprendem dos corpos (Tosi, 1989). Dessa forma, Lavoisier iniciou um estudo da calcinação (oxidação) do fósforo, substância descoberta havia pouco tempo. Para isso, isolou uma quantidade pesada e determinada de fósforo em uma cápsula de ágata dentro de uma campânula de vidro, realizando a sua queima por meio das potentes lentes que possuía e observou a formação de uma fumaça branca espessa. Esse produto obtido foi então dissolvido em água destilada, sendo anotados o volume e peso dessa amostra. Em seguida, Lavoisier encheu outro balão com apenas água destilada até o mesmo volume e anotou a massa. A diferença de massa entre os dois recipientes corresponde ao peso do produto obtido a partir da queima do fósforo, "e este peso é maior que o do fósforo antes de queimar" (Filgueiras, 2002, p.56).

De forma semelhante, Lavoisier calcinou (oxidou) estanho em um recipiente fechado e obteve um produto de massa maior do que o reagente inicial, observando que essa diferença na massa é equivalente à diminuição na quantidade de ar que havia no recipiente. Mas Lavoisier não se limitou a essa experiência, e pensou na ope-

ração inversa, a redução de uma cal (óxido) ao seu metal. Nesse caso, Lavoisier aqueceu em um recipiente fechado o litargírio (monóxido de chumbo) na presença de carvão. Assim, a experiência resultou na formação do metal chumbo e de um gás diferente do ar atmosférico, o *ar fixo* de Black – dióxido de carbono (CO_2). A partir desses experimentos, Lavoisier encaminhou uma nota selada[5] ao secretário da Academia no dia 1º de novembro de 1772, para ser aberta quando ele desejasse, fato que ocorreu em 5 de maio de 1773 (Filgueiras, 2002).

Nessa época, como mencionado anteriormente, Joseph Priestley também estudava os gases que recolhia das reações. Em 1774, tentou identificar o oxigênio, como Scheele. Porém, só atribui a este as suas propriedades (intensifica a chama de uma vela e mantém a vida de animais que a respiram), sem conseguir identificá-lo. Depois de um tempo, Priestley voltou a sua interpretação e chamou esse gás (o oxigênio) de ar deflogisticado. Lavoisier, tomando conhecimento das experiências com o ar deflogisticado, acabou refazendo a experiência e (re)interpretando todo o sistema conceitual desse período (Bensaude-Vincent & Stengers, 1992).

Na repetição dos experimentos realizados por Priestley, Lavoisier reinterpretou, em 20 de abril de 1776, os resultados obtidos, descrevendo que o ar que respiramos (ar atmosférico) possui um quarto do ar verdadeiro (oxigênio), estando misturado com três ou quatro partes de um ar prejudicial, uma mofeta (gás nitrogênio) (Fauque, 1995).

Pouco depois, em 1781, Cavendish identificou a composição da água, porém não da forma adequada. Ele percebeu que, quando queimou o seu ar inflamável (hidrogênio) no ar desflogisticado (oxi-

5. Diante desses dados de grande revelação, como o próprio Lavoisier descreve, tomou as devidas precauções para manter-se proprietário dessas informações, até que outros experimentos confirmassem suas conclusões: "Parecendo-me essa descoberta uma das mais interessantes das que já foram feitas desde Stahl, acreditei dever assegurar-me de sua propriedade, depositando esta nota nas mãos do secretário da Academia, para permanecer selada até a época em que publique minhas experiências" (Lavoisier apud Filgueiras, 2002, p.59).

gênio) de Priestley, houve a formação de vapor úmido. Nesse mesmo ano, Priestley também obteve água ao explodir, com uma faísca, o ar inflamável com o ar comum, obtendo a formação de orvalho no recipiente. Assim, Cavendish propôs renomear o ar desflogisticado de água desflogisticada, ao passo que Priestley contrapõe-se querendo renomear o ar inflamável de água sobrecarregada de flogisto. Ao obter os resultados de Cavendish, Lavoisier retomou o experimento e tirou conclusões diferentes dos dois que discordavam, entendendo que "a água é composta de ar inflamável [hidrogênio] e de ar puro [oxigênio]" (Bensaude-Vincent & Stengers, 1992, p.123; Hankins, 2002).

Segundo Hankins (2002), as experiências realizadas por Priestley buscavam determinar o peso do calor, sem pretensões no que se refere ao estudo do produto da reação. Já Cavendish realizou essa experiência de forma mais sofisticada, mas apenas para seu próprio esclarecimento e, assim, demorou a publicar seus resultados.

Dessa forma, Lavoisier se apoiou nos trabalhos pioneiros de Hales, Black, Cavendish e Priestley para estabelecer uma revolução na Química, elaborando um novo sistema de conhecimento relacionado aos gases e à composição da água. Resultado dos estudos e (re)interpretações, Lavoisier também elaborou uma nova teoria da combustão, contrária à de Stahl, apoiando-se em quatro bases:

> 1ª – em toda combustão ocorre desprendimento de calor (matéria do fogo) ou de luz;
> 2ª – a combustão só se dá no ar puro, e os corpos que ardem, os combustíveis, cessam de se consumir se o ar puro for suprimido;
> 3ª – em cada combustão ocorre decomposição do ar puro e o corpo queimado aumenta de peso à proporção da quantidade de ar puro destruída;
> 4ª – em toda combustão o corpo queimado se transforma em ácido por adição da substância do ar puro que aumentou seu peso. (Fauque, 1995, p.569)

Os estudos de Lavoisier acabam por desbancar a teoria dos quatro elementos. Ao descobrir que a água era composta por hidrogênio e oxigênio, ela perde o seu valor como elemento primordial. O ar passa a ser notado como constituído por várias substâncias no estado gasoso, e não mais como um único elemento. E o flogisto (que pode ser entendido como o princípio do fogo) perde a sua participação explicativa nos fenômenos (Bensaude-Vincent & Stengers, 1992).

> Para substituir a teoria do flogisto, Lavoisier, com a assistência de Guyton de Morveau, de Antoine-François de Fourcroy (1755--1809) e de Claude-Louis Berthollet (1748-1822), começou a trabalhar numa nova linguagem para a química. Muitos nomes de substâncias químicas tinham vindo da alquimia e eram intencionalmente obscuros (vitríolo de Vênus, leão verde, *stellate regulus* de Mercúrio); outros tinham o mesmo nome de quem tinha descoberto essas substâncias (sal de Glauber, fósforo de Kunchel, solução de fumegante de Libavius); outros do seu lugar de origem (sais de Epsom); e outros ainda eram criados de acordo com as suas características (manteiga de antimónio, fígado de enxofre). O objectivo da nova nomenclatura química era fazer com que os nomes dos compostos descrevessem a sua composição. (Hankins, 2002, p.107)

A revisão das formas de linguagem nesse período, principalmente por ser durante o Iluminismo, revela uma preocupação com o próprio método de raciocínio, pois, se os símbolos e a gramática estivessem coerentes e lógicos, então o ato de falar de forma adequada e correta equivaleria a raciocinar de forma correta. Em 1789, Lavoisier lançou seu livro *Tratamento elementar da Química*, que discutia suas concepções sobre a teoria do oxigênio e a nova nomenclatura proposta para substituir os antigos nomes e termos, sendo uma obra de *peso* para intensificar a revolução na Química do século XVIII (Hankins, 2002, p.108).

As investidas de Lavoisier foram importantes por entender as substâncias, num patamar empírico, como aquelas que não pode-

riam ser decompostas em outras mais simples. Em contrapartida, as reações químicas passaram a ser entendidas, da perspectiva macroscópica, a partir da relação existente entre as substâncias que reagiam e os produtos, "incluindo os gases, mediante a conservação dos elementos químicos (concebidos inicialmente como substâncias simples desde o ponto de vista empirista) e da massa [...]" (Furió & Dominguez, 2007, p.245, tradução nossa).

Apesar de ser uma referência na época, a obra de Lavoisier apresentava algumas limitações ao fazer uso de diferentes termos como sinônimos de elemento químico, como princípio, elemento, substância simples e corpo simples (Oki, 2002). Porém, a definição delimitada de alguns desses termos só ocorrerá mais tarde na Química.

Com essa série de trabalhos inovadores, e outros que estão para acontecer, Chagas (1986) nos alerta sobre a formação e consolidação, no decorrer do século XVIII e XIX, do caráter da Química que conhecemos hoje. Nesse sentido, as contribuições metodológicas de Lavoisier e a perspectiva atômica de Dalton foram os pilares básicos para a transição dessa nova visão química.

Como lembra Chagas (1986, p.268), as relações de massa e as teorias atômicas já se faziam presentes, remontando à Antiguidade. Porém, foi necessário desenvolver e maturar a ideia de que "as relações de massa encontradas nos experimentos traduziam, equivaliam, eram as mesmas que as relações entre as massas dos átomos microscópicos e invisíveis".

Nessa perspectiva, a Química acaba sendo encarada como uma atividade que desfruta do caráter experimental (trabalho macroscópico) e da atividade teórica, valendo-se de teorias e modelos de caráter atômico-molecular (trabalho microscópico) para entender os fenômenos.

Assim, contribuindo para os estudos microscópicos da matéria, encontramos John Dalton – um meteorologista que estudava "os problemas físicos da absorção de gases pela água e da água pela atmosfera" (Kuhn, 2005, p.171). Kuhn ainda revela que Dalton se voltou para a Química para estudar os tamanhos e pesos dos

átomos, supondo que a combinação dos átomos apenas acontecia na relação de um para um, ou em outra relação de números inteiros.

A modificação da teoria atômica por Dalton pode ser representada por um esboço encontrado em um ensaio lido à Sociedade Literária e Filosófica de Manchester, em 1803, e também em sua obra "Novo sistema de Filosofia Química", publicada com uma descrição mais desenvolvida de suas ideias em 1808. Sua teoria mencionava que os átomos de diferentes substâncias também deveriam ser diferentes, enquanto os átomos de uma mesma substância deveriam ser idênticos quanto ao tamanho, peso e número, por unidade de volume (Mason, 1964). Segundo Wiechowski (1972), a teoria atômica de Dalton tinha os seguintes princípios:

1. Todo elemento consta de átomos iguais de peso constante.
2. Os compostos químicos se formam pela união de átomos de elementos distintos que se combinam segundo relações numéricas simples.

De acordo com Mason (1964, p.370):

> Acentuou o mesmo químico que uma característica fundamental dos átomos dos diferentes elementos era constituída por seus pesos relativos, e ele próprio elaborou a primeira tabela de tais pesos, tomando o do hidrogênio como unidade, no ano de 1803. Os pesos equivalentes dos elementos, isto é, os pesos em que estes se combinam para formar compostos definidos, podiam ser determinados por aferição direta, e de tais constatações, por sua vez, podiam ser derivados os pesos atômicos dos elementos, se fossem conhecidos, em todos os casos pertinentes, quantos átomos de um elemento se combinavam com um só átomo de outro.

Mas nesse período ainda não existia uma forma para determinar a quantidade de átomos que se combinavam. Portanto, Dalton sugeriu que, quando uma substância é formada pela combinação de dois elementos, esta deve ser uma combinação binária, ou seja, com

um átomo de cada elemento (por exemplo, a água deve ser composta por um átomo de hidrogênio e um de oxigênio – HO) (Mason, 1964).

Somam-se a esse período contribuições diversas, como as de Jöns Jacob Berzelius, que, em 1810, desenvolveu ideias sobre a polarização elétrica que constituía cada corpo simples (elemento químico) ou composto. Assim, acreditava na existência de cargas elétricas pertencentes às substâncias – responsáveis pela combinação entre as espécies químicas. Portanto, atribuiu às substâncias uma escala que ia da mais eletronegativa até a mais eletropositiva, variando devido à natureza de cada corpo. Seguindo essas ideias, a eletrólise teve vital importância para o estudo das substâncias. Davy utilizou a eletrólise para decompor as substâncias, o que possibilitou, na época, uma multiplicação dos corpos simples (Bensaude-Vincent & Stengers, 1992).

Em pouco tempo podemos perceber outras discussões, como a dos pesos atômicos de diversos elementos se aproximando a números inteiros, sendo tomado o do hidrogênio como unidade de referência. Em 1815, o médico londrino William Proust trabalhou com a ideia de que os átomos de outros elementos eram compostos por diferentes números de átomos de hidrogênio. Essa hipótese fez com que Thomas Thomson, professor de Química em Glasgow, arredondasse os pesos atômicos que tinha conseguido determinar para números inteiros. Contudo, estudos posteriores do sueco Jakob Berzelius e do belga Jean Stas provaram que os pesos atômicos dos elementos não eram múltiplos exatos do peso do átomo de hidrogênio, apesar de existir proximidade a números inteiros (Mason, 1964, p.371).

Conforme Mason (1964), de 1820 a 1860, a teoria atômica não apresentava grande *status* na Química. Nesse contexto, os pesos equivalentes eram usados preferencialmente por serem determinados diretamente, enquanto os pesos atômicos refletiam em valores incertos sobre o número de átomos que se combinavam.

Nessa época existiam algumas imperfeições nos métodos experimentais e maneiras diferentes de se efetuarem os cálculos para a

obtenção dos pesos atômicos e, assim, diferentes valores podiam ser atribuídos ao mesmo elemento químico. Dessa forma, Oki (2002) destaca que foi preciso estabelecer uma mudança conceitual para que surgisse uma maneira diferente de interpretar os dados experimentais, rompendo com um dos postulados de Dalton para assumir que átomos de um mesmo elemento químico podem possuir pesos diferentes, sendo uma diretriz para estudos posteriores com os isótopos.[6]

Sobre esse período, Mason (1964) lembra que, em 1859, o químico Bunsen e o físico Kirchhoff, ambos de Heidelberg, introduziram o espectroscópio no estudo e identificação das substâncias – técnica possível devido às cores características de cada substância submetida à chama. Com essa técnica, Bunsen descobriu os elementos césio e rubídio em 1860 e 1861.

Ainda no século XIX, Thomson propôs uma nova teoria para os átomos, na qual o átomo indivisível de Dalton é desbancado. Seu átomo constituía-se de uma esfera uniforme com uma eletricidade positiva, onde os elétrons poderiam estar estáticos ou formando órbitas. Ele seria composto por 7 a 8 elétrons que garantiriam a sua estabilidade e dariam conta da explicação da valência química. Mas, com o tempo, a teoria atômica de Thomson acabou sendo substituída pela concepção atômica de Rutherford. Contudo, antes de tratar como essa teoria se consolidou e representou um avanço à noção microscópica das substâncias, vamos resgatar o desenvolvimento gradual dos trabalhos desse pesquisador, responsável por reunirem dados e informações fundamentais à elaboração de sua estrutura atômica.

Os estudos de Rutherford levaram-no a reconhecer e publicar, em 1899, a existência de dois tipos de radiação provenientes do urânio, sendo uma radiação rapidamente absorvida (radiação alfa

6. "O termo isótopo foi criado em 1913 por Frederick Soddy (1877-1956) e incorporado à linguagem científica nas primeiras décadas do século XX." (Oki, 2002, p.25)

– α) e a outra mais penetrante (radiação beta – β).[7] Em 1903, percebeu que a radiação alfa (α) é atraída para o polo negativo quando está sob influência de um campo elétrico, indicando que tais partículas são carregadas positivamente. Pouco tempo depois, em 1908, Rutherford & Geiger publicaram um artigo que apresentava dois métodos (elétrico e óptico) para a contagem das partículas alfa emitidas por substâncias radioativas (rádio C) (Marques, 2006).

Para o método elétrico, construiu-se um equipamento dividido em duas partes interligadas por uma fenda. No lado esquerdo desse equipamento, encontrava-se a amostra radioativa (1 grama de rádio C) inserida em um tubo de vidro de 450 cm de comprimento por 25 cm de diâmetro, separado por uma válvula de 1 cm de abertura do lado direito do equipamento, o detector. Essa parte de detecção era constituída por um cilindro de metal com cerca de 20 cm de comprimento e 17 cm de diâmetro, sendo acessível às partículas alfa por uma abertura circular de 15 mm (coberta por uma folha de mica) (Marques, 2006).

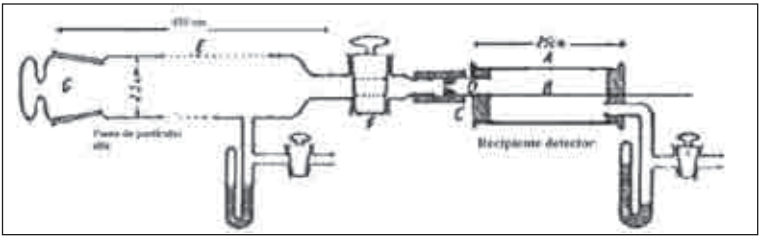

Figura 2 – Esquema do instrumento utilizado por Rutherford & Geiger para o método elétrico

Fonte: Rutherford & Geiger (1908, p.143) apud Marques (2006, p.73).

O grande comprimento do tubo com a amostra e o pequeno buraco de acesso ao detector com o eletrômetro foram determinantes para que poucas partículas α (3 a 5) entrassem no detector e interagissem com as moléculas dos gases. O resultado era a perda

7. A radiação gama foi descoberta mais tarde, em 1900, por Paul Villard.

de elétrons pelos gases na interação, com subsequente formação de íons que eram detectados pela agulha do eletrômetro (por diferença de potencial). Essa técnica revelou que 1 grama de rádio C libera $3{,}4 \times 10^{10}$ partículas alfa por segundo (Marques, 2006).

O método óptico era baseado na contagem de cintilações provocadas por partículas alfa (do rádio C) que incidiam em uma tela de sulfeto de zinco. O equipamento anterior (do método elétrico) foi adaptado para essa experiência, mantendo-se a parte esquerda e retirando-se o lado direito, do detector. A abertura do tubo de vidro (123 mm), o tamanho desse tubo (200 cm) e a intensidade da amostra foram estruturados para permitir 20 a 60 cintilações por minuto, facilitando a sua observação mediante um microscópio. Os vários testes realizados por Rutherford & Geiger revelaram que cada partícula alfa é responsável por uma cintilação na tela de sulfeto de zinco, concluindo que os dois métodos (elétrico e óptico) são eficientes para registrar o número de partículas alfa emitidas por um grama de rádio (Marques, 2006).

O método de cintilações também foi usado no estudo do espalhamento das partículas alfa. Assim, em 1909, Geiger e Marsden publicaram um estudo sobre os grandes graus de reflexão (com até mais de 90° de reflexão) das partículas alfa que incidem em diferentes materiais. Os resultados mostraram que o emprego de materiais com menor peso atômico como refletores (por exemplo, ouro – 197; e alumínio – 27) ocasionavam a diminuição da reflexão das partículas alfa, diminuindo o número de cintilações provocadas na placa de sulfeto de zinco, ou seja, as partículas alfa eram menos refletidas ao passarem por materiais refletores de menor peso atômico (Marques, 2006).

Contudo, o modelo atômico de Thomson não era apropriado para entender e explicar esses resultados. Nesse modelo, o átomo era uma esfera de carga positiva uniformemente distribuída, incrustada por corpúsculos negativos (os elétrons) que neutralizavam a carga atômica. Dessa forma, a mudança da trajetória da partícula α (partícula positiva) seria resultado de sua atração pelos corpúsculos negativos localizados ao redor do átomo ou por meio de uma

repulsão devida à carga positiva desse átomo. Porém, nessa concepção, devido aos poucos elétrons e a uniformidade de distribuição da carga positiva do átomo, as partículas α lançadas contra o material refletor não poderiam sofrer grandes desvios, fato que intrigava Rutherford e seus colaboradores.

Assim, os estudos de Rutherford sobre os resultados obtidos por Geiger e Marsden levaram-no a publicar um artigo, em 1911, pela *Philosophical Magazine* ("The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom"), discutindo que as partículas alfa não poderiam se espalhar em ângulos de 90° (ou até maiores) ao se chocarem com uma fina folha de ouro (6×10^{-5} cm de espessura), já que colidiriam com um único átomo. Assim, para dar conta dessa lacuna, Rutherford propôs que o átomo teria uma carga central (não definida se era positiva ou negativa), de volume pequeno, mas responsável pelo peso atômico (ainda não sendo denominado por núcleo). Assim, a partícula alfa sofreria o desvio ao encontrar um centro pesado (de carga positiva ou negativa) com um raio de 3×10^{-12} cm, rodeado por partículas de sinal contrário à carga elétrica do centro, rodeando o átomo de raio 10^{-8} cm (Rutherford, 1911 apud Marques, 2006).

As pesquisas sobre a teoria de Rutherford prosseguiram com os estudos de outros cientistas. Havia alguns pontos na teoria de Rutherford de 1911 que não estavam bem claros, como, por exemplo, a constituição do núcleo e a sua carga, o que o levou a escrever o artigo "The structure of the atom", publicado em 1914.

Nesse trabalho, Rutherford (1914) supõe que, se o núcleo for esférico, a soma do raio do hidrogênio e do hélio não ultrapassaria $1{,}7 \times 10^{-13}$ cm, valor menor do que o aceito naquela época para o diâmetro do elétron (2×10^{-13} cm). Assim, ele discute que as grandes deflexões das partículas alfa não são causadas pela distribuição externa dos elétrons negativos, sendo explicadas por sua passagem próximo ao núcleo (a carga central de 1911 começa a ser denominada por núcleo), que tem um campo muito intenso.

> Foi mostrado que o tipo de átomo desviado por *Lord* Kelvin e calculado em grande detalhe por *Sir* J. J. Thomson era incapaz de produzir grandes deflexões semelhantes a menos que o diâmetro da esfera positiva fosse excessivamente pequeno. Na sequência de calcular este grande ângulo de espalhamento de partículas α, eu supus que o átomo consistia de um núcleo carregado positivamente de pequenas dimensões no qual praticamente toda a massa do átomo estava concentrada. Supôs-se que o núcleo foi rodeado por uma distribuição de elétrons para fazer o átomo eletricamente neutro [...]. (Rutherford, 1914, p.488-9, tradução nossa)

Ainda, Rutherford (1914, p.489, tradução nossa) revela que a carga positiva localizada no núcleo é a responsável pelas propriedades físicas e químicas do átomo. No mesmo patamar, discute os resultados obtidos por Geiger (1910), sendo deduzido que "o valor da carga nuclear é igual para quase metade do peso atômico multiplicado pela carga eletrônica".

Nessa linha, Rutherford (1914) menciona que é de conhecimento que a massa do hélio é quatro vezes maior do que a do hidrogênio. Assim, relata que o hélio tem quatro elétrons positivos (não se falava em prótons ainda) e dois elétrons negativos. É preciso observar que atualmente a massa do hélio é quatro vezes maior devido a dois prótons e dois nêutrons (descoberto em 1932 pelo físico inglês James Chadwick) em relação a apenas um próton do hidrogênio. Esse artigo ainda revela a massa do elétron (1/1.830 da massa do núcleo).

Rutherford (1914) também destaca os resultados obtidos por Moseley (1913), que apontam para a diferenciação do comprimento de onda dos raios X característicos dos elementos como resultado de a carga no núcleo desses elementos diferir em uma unidade. Vale lembrar que essa ainda não era uma regra precisa, pois ainda existiam anomalias quanto à classificação periódica, mas os estudos começavam a caracterizar as substâncias pela carga positiva do núcleo – os prótons.

Mason (1964, p.382) também resgata a importância do emprego do espectroscópio de raios X por Moseley. Com o avanço dos

estudos, notou-se que os espectros visíveis dos elementos revelavam uma função periódica de seus pesos atômicos, relativos às propriedades químicas. Assim, as linhas espectrais dos raios X dos elementos químicos mantinham relação com seus pesos atômicos, respectivos números atômicos (número de prótons). "Em 1913 e 1914 Moseley estabeleceu o número absoluto de elementos, até o urânio, em noventa e dois, demonstrando que existiam quatorze metais raros, bem como sete elementos mais leves do que o urânio, ainda não descobertos".

Como nos alerta Peixoto (1978), Rutherford era responsável por um grupo de pesquisa focado na aplicação de radioisótopos que produzissem raios gama e beta e, nessa busca, ficou encarregado da orientação de dois novos integrantes do grupo – Moseley de Oxford em 1910 e Bohr da Dinamarca em 1912. Mas, em 1913, Moseley voltou para Oxford e Bohr para Copenhague.

Após essa parceria, Moseley começou suas pesquisas sobre a emissão característica de raios X pelos elementos e percebeu que a carga positiva do núcleo atômico crescia de um elemento para outro e chegou à conclusão de que a organização periódica de Mendeleev dos elementos segundo as massas estava equivocada, pois deveria considerar o número atômico (carga positiva do núcleo) – observação responsável pela previsão de elementos ainda desconhecidos, mas que foram descobertos posteriormente. Já Bohr retornou à Dinamarca intrigado com a estabilidade do modelo atômico de Rutherford (Peixoto, 1978).

É interessante mencionar que Rutherford (1914, p.498, tradução nossa) encerra seu artigo com os alertas de Bohr (1913) sobre as barreiras de sua teoria atômica, pois as "posições estáveis dos elétrons externos não podem ser deduzidas da mecânica clássica". Isso porque, pela mecânica clássica, o movimento do elétron seria responsável pela emissão de radiação eletromagnética, resultando na perda de energia e num movimento espiralado em direção ao núcleo, até que houvesse o choque.

Esse alerta, publicado na forma de artigo por Bohr (1913a, p.2, tradução nossa), revela as limitações do modelo elaborado por Ru-

therford com base no desenvolvimento da teoria de radiação de energia "e a afirmação direta de novas suposições introduzidas nessa teoria, encontradas por experimentos sobre muitos fenômenos diferentes, tais como aquecimentos específicos, efeito fotoelétrico, Röntgen, etc.". Essas questões revelam as limitações da eletrodinâmica clássica na explicação do comportamento dos sistemas atômicos.

Se for considerada a irradiação de energia a partir do método usual de aceleração dos elétrons, será percebido que os elétrons descreverão órbitas de dimensões cada vez menores, o elétron ganhará energia cinética e o sistema inteiro (no caso, o átomo em estudo) perderá energia. "Esse processo irá até as dimensões da órbita ser da mesma ordem de magnitude das dimensões dos elétrons ou aquelas do núcleo" (Bohr, 1913a, p.4).

Algumas observações desse artigo são importantes ao lançarem hipóteses sobre a absorção da radiação pelo átomo. A discussão levantada entende que um sistema compreendido por um núcleo e um elétron que gira em círculos (no caso, o átomo de hidrogênio) "pode absorver uma radiação de uma frequência igual à frequência da radiação homogênea emitida durante a passagem do sistema entre dois estados estacionários [órbitas]" (idem, p.15-6).

"Bohr assumiu que a absorção ou emissão de radiação só poderia ocorrer quando o elétron passasse de uma órbita a outra. Assim, somente certos valores de energia poderiam ser absorvidos ou emitidos pelo átomo" (Peixoto, 1978, p.10).

De acordo com esse raciocínio, um átomo pode passar de um determinado estado estacionário (por exemplo, A1) para outro (A2). O vapor de sódio, por exemplo, absorve radiação correspondente às linhas no espectro, e Bohr entende que essas linhas são emitidas na passagem entre os estados estacionários. Ao final do artigo, Bohr (1913a, p.24-5, tradução nossa) encerra dizendo que:

> Em algum sistema molecular consistindo de núcleo positivo e elétrons no qual o núcleo está em relativo repouso para cada outro e os elétrons movem-se em órbitas circulares, o momento angular de

> todos os elétrons ao redor do centro dessa órbita no estado permanente do sistema será igual a h/(2π), em que h é a constante de Planck.

Para ele, essa configuração é considerada estável caso a energia total desse sistema seja menor do que de uma configuração vizinha que satisfaça a mesma condição do momento angular dos elétrons. Essas concepções, de acordo com Bohr (1913a), demonstram estar em conformidade com variados experimentos, sempre buscando estar em relação direta com a teoria da radiação de Planck e, portanto, serão usadas em suas futuras comunicações (publicações).

A continuação de suas ideias é retomada em um segundo artigo – "On the constitution of atoms and molecules" –, em que relata que, se conhecermos a carga do núcleo do átomo, o momento angular dos elétrons determinará a configuração do sistema, por exemplo, a frequência de revolução e as dimensões lineares dos anéis (Bohr, 1913b, p.2).

Sobre a configuração e estabilidade do sistema, Bohr (1913b) alerta que, para sistemas que possuem núcleo e elétrons que se movem em órbitas, a energia cinética dos elétrons corresponde à quantidade total de energia emitida quando há a formação de um sistema. Assim como mencionado na parte I (primeiro artigo – Bohr, 1913a):

> Nós assumimos que a frequência da radiação emitida ou absorvida pelo sistema não pode ser determinada da frequência de vibração dos elétrons no plano das órbitas, calculado pela ajuda da mecânica clássica. Temos, ao contrário, assumido que a frequência da radiação é determinada pela condição $h\,v = E$, onde v é a frequência, h a constante de Planck, e E a diferença na energia correspondente a dois estados "estacionários" diferentes do sistema". (Bohr, 1913b, p.480, tradução nossa)

Ao discutir a constituição de átomos que contêm poucos elétrons, Bohr discute que a relação entre o número de elétrons dos

átomos é igual ao número que determina a posição do elemento de acordo com a organização dos elementos, que segue o aumento do peso atômico.

Um destaque importante realizado por Bohr (1913b) é com relação à configuração e distribuição dos elétrons nas órbitas, pois revela que um átomo com cinco ou seis elétrons terá dois elétrons na primeira órbita e os restantes nas demais – 5 (2, 3) e 6 (2, 4) – em vez de possuírem, no máximo, dois elétrons por órbita – 5 (2, 2, 1) e 6 (2, 2, 2). Nesse caminhar, alerta que a organização dos elétrons externos leva em conta os volumes atômicos, sendo uma função periódica dos pesos atômicos. De acordo com o método daquele período de organização, os elementos que estão numa mesma coluna têm um volume atômico próximo, mas que muda de forma considerável em comparação com as demais colunas.

É interessante destacar que Bohr (1913b) também comenta as irregularidades para o grupo do ferro na forma de organizar os elementos químicos daquele período, sendo uma questão resolvida apenas mais tarde com a concepção de elementos de transição na tabela periódica – uma nova forma de entender a distribuição dos elétrons dos elementos de transição em função das órbitas de seus átomos.

Como indicado pela homogeneidade da radiação característica de Röntgen, que naquela época foi notada pela absorção desses raios e também pela difração de raios Röntgen em cristais, e, como indicado no primeiro artigo de Bohr (1913a), que relata a emissão do espectro-linha, Bohr (1913b) admite que a radiação emitida pela passagem entre dois diferentes estados estacionários de um sistema é homogênea.

Bohr (1913b) encerra seu artigo mencionando que a teoria defendida por ele está de acordo com as propriedades gerais da matéria, mas suas ideias entram em desacordo com as concepções daquele período sobre substâncias radioativas segundo a distribuição eletrônica ao redor do núcleo.

Como é sintetizado por Ronan (2001b), o modelo de Bohr é baseado em um núcleo de carga positiva, no qual os elétrons se mo-

viam em órbitas específicas. O átomo, ao receber energia, via aquecimento ou radiação eletromagnética, distribuiria essa energia a um ou mais elétrons, que, consequentemente, se deslocariam para outras órbitas também fixas, porém mais afastadas do núcleo. Em pouco tempo, os elétrons perturbados voltariam às suas órbitas específicas e liberariam energia eletromagnética.

> Bohr declarou que o comprimento de onda dessa energia depende de dois fatores. Um é o número de órbitas sobre as quais saltam os elétrons; o outro, a proximidade dessas órbitas em relação ao núcleo. Assim, o comprimento de onda pode abranger todo o espectro da radiação eletromagnética, desde os raios gama e X, na extremidade dos comprimentos de onda muito pequenos, passando pelo espectro visível, até os raios infravermelhos ou de calor (descobertos em 1800 pelo astrônomo William Herschel) e as ondas de rádio, na extremidade dos comprimentos de onda muito longos. E, uma vez que as órbitas permanecem fixas em posições definidas, cada átomo terá seus próprios comprimentos de onda característicos, que, no espectroscópio, são observados como linhas específicas. (Ronan, 2001b, p.109).

Peixoto (1978, p.11) também resgata a construção do modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio. Mas nesse período já eram de conhecimento os resultados experimentais da emissão de luz com as descargas elétricas em gases a baixa pressão, bem como a decomposição dessa luz sob um prisma que originava linhas do espectro de emissão dos elementos.

> Em 1885, o matemático suíço Balmer sugeriu uma fórmula empírica com a qual era possível calcular os comprimentos de ondas de algumas linhas do espectro de hidrogênio [...]. Essa série de linhas ficou conhecida como "série de Balmer".

Na década posterior, Rydberg e Ritz conseguiram generalizar essa fórmula de modo a englobar novas linhas observadas no es-

pectro. Dessa forma, o modelo de Bohr revela grandes avanços em comparação com as teorias clássicas, uma vez que consegue explicar as séries espectrais dos átomos de hidrogênio e, também, torna compreensível o cálculo da energia de ionização desses átomos (Peixoto, 1978).

> Porém, com o uso de espectroscópios mais sofisticados e com melhor poder de resolução, notou-se que certas linhas espectrais até então observadas como sendo simples, consistiam na realidade, de duas ou mais linhas bastante próximas entre si. Observadas com aparelhos de baixa resolução, elas pareciam ser uma única linha. A estes detalhes dos espectros damos o nome de Estrutura Fina. (Idem, p.12)

Nesse contexto é que surgem anomalias no modelo de Bohr que, apesar de explicar a fórmula de Balmer-Rydberg e Ritz, não mantinha relação com a recém-descoberta estrutura fina do espectro do hidrogênio. Somando a esse fato, Peixoto (1978) revela que a teoria do primeiro conseguia tornar compreensíveis fatos experimentais para o átomo de hidrogênio e para íons como He^{+}, Li^{2+} e Be^{2+}, porém apresentava incorreções para átomos ou íons que possuíam mais de dois elétrons. "Apesar de suas limitações, a teoria de Bohr mostrou-se de grande utilidade; assim, ela contribuiu, por exemplo, para pôr certa ordem na classificação das 'confusas' linhas espectrais até então observadas" (Idem, p.12).

Com esses modelos atômicos posteriores, há uma nova forma de entender microscopicamente os elementos químicos, sobretudo a partir dos trabalhos de Rutherford e Bohr, diferenciando-os pela quantidade de prótons no núcleo ou via comprimentos de onda específicos. Assim, apesar de esses elementos químicos não serem semelhantes aos elementos aristotélico-escolásticos, nem semelhantes às substâncias macroscópicas que fizeram parte das análises e definições empíricas de Boyle, Lavoisier e outros, representam um modelo abstrato interessante para o estudo e compreensão das substâncias.

No campo da Química quântica aconteceram muitos avanços posteriores. Contudo, considerando os objetivos de um curso introdutório de Química para alunos do ensino médio e, também, a grande complexidade envolvida em etapas posteriores desse campo de estudos microscópicos, a nossa construção histórica será limitada até as contribuições de Bohr e alguns de seus contemporâneos para o modelo atômico quântico.

O conceito de substância e algumas questões históricas, filosóficas e pedagógicas

Como podemos notar na reconstrução, várias noções foram atribuídas ao termo *substância* ao longo da história. Um primeiro período engloba as investidas dos filósofos gregos para entender o mundo por meio dos elementos, concepção que sofreu algumas modificações e permeou as noções alquímicas até o século XVII. Dessa forma, as explicações da matéria e dos fenômenos derivavam em grande parte da metafísica aristotélica (elementos primordiais) ou das escolas atomísticas, sem que existisse uma concepção padrão, adotada de forma generalizada pelos filósofos/cientistas.

Essa característica também é notada na Física, na Geologia e na Biologia por Kuhn (2005, p.32) para um período anterior ao amadurecimento dessas ciências. Assim, por exemplo, da Antiguidade ao final do século XVII, não havia uma única concepção aceita sobre a natureza da luz. E, sim, "um bom número de escolas e subescolas em competição, a maioria das quais esposava uma ou outra variante das teorias de Epicuro, Aristóteles e Platão", sendo o primeiro paradigma, aceito consensualmente, construído por Newton em sua obra Óptica.

O trabalho histórico com a pesquisa elétrica também revela como a Ciência se desenvolve para depois construir um paradigma amplamente aceito. Nesse sentido, havia várias concepções sobre a natureza da eletricidade (resultantes de alguma versão da filosofia

mecânico-corpuscular que orientava as pesquisas do século XVIII). Kuhn (2005, p.34-5) completa:

> Somente através dos trabalhos de Franklin e de seus sucessores imediatos surgiu uma teoria capaz de dar conta, com quase igual facilidade, de aproximadamente todos esses efeitos [elétricos]. Em vista disso essa teoria podia e de fato realmente proporcionou um paradigma comum para a pesquisa de uma geração subsequente de "eletricistas".

Nessa perspectiva, destacamos os trabalhos de Boyle no século XVII como um dos responsáveis pela transição paradigmática[8] entre a alquimia e a ciência química. O trabalho de Boyle, ao adotar a análise química para a identificação dos corpos químicos, se diferencia das concepções aristotélicas. Assim, os elementos seriam os constituintes produzidos na análise química, ou seja, "os verdadeiros limites extremos da análise química" (Mason, 1964 apud Oki, 2002, p.23).

A concepção da matéria ligada à ideia de corpúsculos e movimento também é importante para entendermos a mudança do paradigma alquímico para um paradigma mecanicista na Química. Nesse sentido, o trabalho de Boyle reinterpretou as reações ainda ligadas à ideia de transmutação, entendendo que "tais reações apresentavam o processo de reorganização corpuscular que deve estar na base de toda transformação química" (Kuhn, 2005, p.65).

A transição paradigmática entre a teoria flogística e as construções teóricas e os dados experimentais obtidos por Lavoisier e seus contemporâneos também revela um momento importante para entendermos os cenários epistemológicos ligados às noções de

8. Trabalharemos com a concepção de paradigma enunciada no Prefácio da nona edição da obra de Kuhn (2005, p.13): "Considero 'paradigmas' as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência".

substância. Assim, a crise na teoria do flogisto, gerada com a construção de várias versões teóricas para tentar explicar o aumento da massa de algumas substâncias após a liberação do flogisto em uma reação de combustão, causou insatisfações, principalmente em meio a novos trabalhos, reinterpretações de informações e com um novo sistema teórico-experimental que conseguiu superar essa anomalia[9] da teoria flogística.

Esse processo histórico é entendido por Kuhn (2005, p.125) como uma Revolução Científica pelo fato de ser um dos "episódios de desenvolvimento não cumulativo, nos quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por um novo, incompatível com o anterior". Nesse processo, a teoria dos quatro elementos, por tabela, acaba sendo desbancada e destituída das explicações dos fenômenos naturais e o empirismo lavoiseriano ganha força e reconhecimento na classificação entre substâncias simples (indecomponíveis experimentalmente) e substâncias compostas ("elementos" ou substâncias elementares combinadas).

Além das contribuições teórico-metodológicas de Boyle e Lavoisier para uma nova compreensão das substâncias químicas, apontamos a relevância dos trabalhos atomísticos de Dalton e seus sucessores no campo de estudos microscópicos da matéria. Assim, no que concerne aos modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr, cada construção posterior buscou suprir uma anomalia que o paradigma atômico aceito possuía, explicando uma gama maior de fenômenos. Quanto a essa questão, Kuhn (2005, p.91) esclarece:

> No desenvolvimento de qualquer ciência, admite-se habitualmente que o primeiro paradigma explica com bastante sucesso a maior parte das observações e experiências facilmente acessíveis aos pra-

9. As várias versões para a teoria do flogisto são resultados das modificações *ad hoc* dessa teoria pelos seus defensores, buscando eliminar as anomalias. Como relata Kuhn (2005), a elaboração de várias versões de uma mesma teoria revela a crise desse paradigma.

> ticantes daquela ciência. Em consequência, um desenvolvimento posterior comumente requer a construção de um equipamento elaborado, o desenvolvimento de um vocabulário e técnicas esotéricas, além de um refinamento de conceitos que se assemelham cada vez menos com os protótipos habituais do senso comum.

Esses modelos atômicos sucessivos mostram que em alguns casos a Ciência evolui sem causar grandes conflitos entre teorias, podendo interpretar fenômenos que eram desconhecidos (como os fenômenos subatômicos com a teoria quântica). "Ainda, a nova teoria poderia ser simplesmente de um nível mais elevado do que as anteriormente conhecidas, capaz de integrar todo um grupo de teorias de nível inferior, sem modificar substancialmente nenhuma delas" (Kuhn, 2005, p.129).

A construção desses modelos teóricos sucessivos, baseados em partículas de caráter microscópico (prótons, elétrons, nêutrons), revela uma nova ruptura epistemológica com a química lavoiseriana – que é identificada por uma concepção de matéria estável e de propriedades definidas.

Essa categoria ultrarracionalista é orientada pelo que Bachelard entende por fenomenotécnica, ou seja, técnicas e equipamentos (como espectroscópico ou o equipamento de cintilações das partículas alfa) são as ferramentas responsáveis pela construção do mundo real, sendo os átomos (constituídos por elétrons, prótons, nêutrons) o viés para entender os elementos químicos. Assim, enquanto a substância na Química clássica é caracterizada por operações químicas em nível macroscópico (realismo do olhar), a substância da Química contemporânea está fundamentada, também, no aspecto qualitativo/quantitativo, porém são os equipamentos que determinam a concepção do número atômico, do elétron e do átomo (realismo da "técnica") (Silveira, 2003).

Podemos notar que a evolução do conceito de substância caminhou lado a lado com o estabelecimento e desenvolvimento da Química, sofrendo (re)construções teóricas de níveis de abstração

cada vez maiores, chegando até a elaboração de modelos microscópicos para entender a matéria e os fenômenos que nos cercam.

Dessa forma, assim como ocorreu na História da Ciência/Química, acreditamos que a educação científica deve ser trabalhada segundo um nível gradual de complexidade. Essa possibilidade é apresentada por Nelson (2002) ao discutir a viabilidade do Ensino de Química que considere o percurso histórico ao abordar, progressivamente, o estabelecimento dos elementos químicos no século XVIII (nível 1 – macroscópico), a teoria atômica no século XIX (nível 2 – atômico e molecular) e a teoria eletrônica no século XX (nível 3 – eletrônico e nuclear).

Assim, além de seguir o processo natural de construção do conhecimento químico, a abordagem segundo um nível gradual de complexidade vai ao encontro das orientações apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) para a Educação Química no ensino médio. Esse documento oficial recomenda que o trabalho pedagógico inicial com o aluno seja balizado por "fatos concretos, observáveis e mensuráveis acerca das transformações químicas, considerando que sua visão do mundo físico é preponderantemente macroscópica. Nessa fase inicial, a aprendizagem é facilitada quando se trabalha com exemplos reais e perceptíveis" (Brasil, 2002, p.94).

Nesse sentido, acreditamos que o trabalho escolar com as transições paradigmáticas do conceito de substância (teoria dos quatro elementos; o emprego da balança com Lavoisier, delineando uma perspectiva empírica/quantitativa do teste com as substâncias; a construção de modelos microscópicos para explicar a matéria), além de seguir um nível gradual de abstração, favorece a compreensão discente sobre a realidade da Ciência, ao ajudar o aluno a perceber aspectos como a linearidade e a não linearidade na construção da Química, o intercâmbio de ideias entre cientistas no desenvolvimento de uma área, a existência de diferentes metodologias científicas, as interferências externas no rumo das pesquisas, etc. Assim, essa abordagem favorece uma compreensão mais rica, completa e

complexa sobre o conceito de substância, apresentando a Química como um corpo de conhecimento dinâmico ao longo dos anos.

Referências bibliográficas

ALFONSO-GOLDFARB, Ana M. *Da alquimia à Química*. São Paulo: Landy, 2001.

ANDERY, Maria A. P. A., MICHELETTO, Nilza, SÉRIO, Tereza M. A. P. O mito explica o mundo. In: ANDERY, Maria A. P. A. et al. *Para compreender a Ciência*: uma perspectiva histórica. 10.ed. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 2001a. p.23-31.

_____. O mundo tem uma racionalidade, o homem pode descobri-la. In: ANDERY, Maria A. P. A. et al. *Para compreender a Ciência*: uma perspectiva histórica. 10.ed. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 2001b. p.33-56.

_____. O pensamento exige método, o conhecimento depende dele. In: ANDERY, Maria A. P. A. et al. *Para compreender a Ciência*: uma perspectiva histórica. 10.ed. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 2001c. p.57-96.

BENSAUDE-VINCENT, B., STENGERS, I. *História da Química*. Lisboa: Instituto Piaget, 1992.

BOHR, Niels. On the constitution of atoms and molecules. *Philosophical Magazine*, série 6, v.26, p.1-25, jul. 1913a.

_____. On the constitution of atoms and molecules. Part II – Systems containing only a single nucleus. *Philosophical Magazine*, série 6, v.26, p.476-502, jul. 1913b.

BRASIL. *PCN + Ensino Médio*: orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC, Semtec, 2002.

CHAGAS, Aécio P. Alguns aspectos da Química no século XVII. *Química Nova*, v.9, n.4, p.268-71, 1986.

CHASSOT, Attico. *A Ciência através dos tempos*. São Paulo: Moderna, 1994.

FARIAS, Robson F. de. *História da alquimia*. Campinas: Átomo, 2007.

FAUQUE, D. O papel iniciador de Lavoisier. *Química Nova*, v.18, n.6, p.567-73, 1995.

FILGUEIRAS, Carlos L. A. *Lavoisier*: o estabelecimento da Química Moderna. São Paulo: Odysseus, 2002.

FREZZATTI JR., Wilson A. Boyle: a introdução do mecanicismo na Química. *Varia Scientia*, v.5, n.9, p.139-56, 2005.

FURIÓ, Carles M., DOMÍNGUEZ, Consuelo S. Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, v.25, n.2, p.241-58, 2007.

HANKINS, Thomas L. *Ciência e Iluminismo*. Porto: Porto Editora, 2002.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 9.ed. São Paulo: Perspectiva, 2005.

MARQUES, Deividi M. *As investigações de Ernest Rutherford sobre a estrutura da matéria*: contribuições para o ensino de Química. Bauru, 2006. 181f. Dissertação (mestrado) – FC, Universidade Estadual Paulista.

MASON, T. F. *História da Ciência*: as principais correntes do pensamento científico. Porto Alegre: Globo, 1964.

NELSON, Peter G. Teaching Chemistry progressively: from substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. *Chemistry Education*: Research and Practice in Europe, v.3, n.2, p.215-28, 2002.

OKI, Maria C. M. O conceito de elemento: da Antiguidade à Modernidade. *Química Nova na Escola*, n.16, p.21-5, nov. 2002.

PEIXOTO, E. M. A. Química Quântica. Parte I: O átomo de hidrogênio. *Química Nova*, p.5-14, jan. 1978.

PEREIRA, Maria E. M., GIOIA, Sílvia Catarina. Do feudalismo ao capitalismo: uma longa transição. In: ANDERY, Maria A. P. A. et al. *Para compreender a Ciência*: uma perspectiva histórica. 10.ed. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 2001. p.161-78.

PORTO, Paulo A. Os três princípios e as doenças: a visão de dois filósofos químicos. *Química Nova*, v.20, n.5, p.569-72, 1997.

RONAN, Colin A. *História ilustrada da ciência*: a ciência nos séculos XIX e XX. v.4. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

RUBANO, Denize R., MOROZ, Melania. Relações de servidão: Europa Medieval Ocidental. In: ANDERY, Maria A. P. A. et al. *Para compreender a Ciência*: uma perspectiva histórica. 10.ed. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 2001. p.133-44.

RUTHERFORD, Ernest. The structure of the atom. *Philosophical Magazine*, serie 6, v.27, p.488-98, mar. 1914.

SILVEIRA, M. P. Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª e 8ª séries do ensino fundamental. São Paulo, 2003. 144f. Dissertação (mestrado) – IQ/IF/FE, Universidade de São Paulo.

TOSI, L. Lavoisier: uma revolução na Química. *Química Nova*, v.12, n.1, p.33-56, 1989.

WIECHOWSKI, S. *Historia del atomo*. Barcelona: Labor, 1972.

4

Contribuições da abordagem de questões sociocientíficas à construção de novas compreensões sobre a perspectiva CTSA por parte de professores de Química em serviço

Leonardo Fabio Martínez Pérez[1]
Washington Luiz Pacheco de Carvalho[2]

Introdução

Na literatura sobre a formação de professores de Ciências, encontramos várias pesquisas focadas em caracterizar as concepções e/ou as crenças de licenciados ou professores em serviço com respeito às relações Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) (Acevedo, 2000; Acevedo, Vásquez & Manassero, 2002; Acevedo et al., 2002). Esses trabalhos têm privilegiado a análise das crenças por se-

1. Universidad Pedagógica Nacional – UPN/Bogotá (Colômbia). Docente do Departamento de Química. Doutor em Educação para a Ciência – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/ Campus de Bauru. Ex-bolsista da Capes/CNPq – IEL Nacional – Brasil. *e-mail*: lemartinez@pedagogica.edu.co.
2. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP – Faculdade de Engenharia/Campus de Ilha Solteira. Professor adjunto do Departamento de Física e Química. *e-mail*: washcar@dfq.feis.unesp.br.

rem estas "responsáveis" por práticas de ensino tradicionais. No entanto, é necessário realizar uma análise mais ampla que inclua as práticas docentes e os fatores pessoais, sociais e escolares que as influenciam.

A complexidade compreendida entre crenças e práticas apresenta um desafio para o Ensino de Ciências com enfoque CTSA, entendido como uma perspectiva potencialmente formativa que articula teoria e prática de acordo com um enfoque crítico do ensino. Nesse sentido, o ensino de Ciências precisa refletir sobre a práxis do professor para a superação da racionalidade técnica (Schön, 1997, 2000) que reduz a atividade docente à mera aplicação de teorias, modelos ou estratégias que são criadas por especialistas ou ainda são oferecidas por determinadas orientações curriculares.

Pensar o ensino de Ciências, desde a práxis do professor, requer necessariamente a sua participação na definição, não só das estratégias de ensino, mas também na definição de problemas, conteúdos e objetivos associados à sua profissão. A ideia do professor como sujeito ativo de sua práxis é uma construção que precisa do estabelecimento de relações com seus pares (colegas, pesquisadores, administradores educativos, etc.) em espaços sociais e históricos determinados.

Segundo Carr & Kemmis (1988), o ensino crítico exige uma permanente reflexão do professor sobre seus próprios conhecimentos teóricos e práticos; assim o ensino torna-se uma prática profissional comprometida com a pesquisa dos problemas pedagógicos enfrentados nas instituições educativas e em salas de aula. Para esses autores, a pesquisa educativa não consiste apenas em produzir teorias ou desenvolver práticas mais eficazes; o que se busca, principalmente, é fazer da prática um processo crítico que permita compreendê-la e transformá-la.

Embora a perspectiva CTSA tenha se constituído em uma linha de pesquisa do ensino de Ciências, há poucos esforços para entender a prática dos professores ao trabalharem esse enfoque pedagógico-didático (Pedretti et al., 2008). Nesse contexto, propomos neste trabalho uma análise crítica de discurso sobre as contribui-

ções da abordagem de questões sociocientíficas (QSC) à construção de novas compreensões da perspectiva CTSA por parte de professores de Química em serviço.

A metodologia adotada na pesquisa foi qualitativa e as análises foram desenvolvidas após o trabalho realizado com 31 professores de Química em serviço na disciplina Ensino de Ciências com Enfoque CTSA, a Partir de QSC oferecida em um curso de mestrado em docência da Química pertencente a uma universidade governamental da Colômbia.

A disciplina teve como objetivo geral o estudo dos pressupostos teóricos e metodológicos do ensino de Ciências com enfoque CTSA, focalizando a análise das práticas dos professores participantes na perspectiva de sua qualificação ou transformação. Essa disciplina também teve como objetivo o acompanhamento da elaboração e o desenvolvimento de um projeto de ensino sobre QSC. No total, a disciplina teve três encontros presenciais de quatro horas e quatro encontros presenciais de oito horas, somando 44 horas de trabalho presencial. Após a realização da disciplina, foi realizada uma entrevista focal visando explorar as contribuições da abordagem de QSC à construção de novas compreensões da perspectiva CTSA por parte dos professores. A entrevista focal (EF) foi desenvolvida com seis grupos de professores e foi transcrita na íntegra para efeitos das análises. Na apresentação dos episódios ou recortes da entrevista, os nomes dos professores são fictícios.

Conforme Fairclough (2001), a análise crítica de discurso foi realizada a partir dos elementos analíticos de modalidade, *ethos* e polidez. A modalidade representa o grau de afinidade ou de aceitação de uma determinada proposição proposta por um interlocutor. A modalidade, gramaticalmente, está associada com o uso de verbos auxiliares modais (dever, poder, etc.) e advérbios modais (provavelmente, possivelmente, obviamente, etc.). Esses elementos de análise também estão relacionados com manifestações linguísticas de afinidade, tais como "uma espécie de", "um pouco", "uma coisa assim". O *ethos* é constituído intertextualmente e, portanto, é construído socialmente nos processos discursivos de maneira que con-

tribui para a constituição da subjetividade dos participantes de uma interação dialógica; dessa forma, o *ethos* tem a ver com a construção da autonomia dos sujeitos.

A polidez é um elemento de análise interessante para entender as estratégias utilizadas pelos participantes de diálogos para mitigar atos de fala que sejam potencialmente ameaçadores. Assim, as concessões de polidez possuem um caráter político relevante que abrange intenções individuais, bem como o sentido de sua variabilidade em diferentes tipos de discurso contextualizados culturalmente.

Novas compreensões sobre a perspectiva CTSA por parte de professores de Química em serviço

Orientaremos a análise neste ponto desenvolvendo em primeiro lugar uma análise específica de algumas falas de professores em termos de modalidade e polidez, para depois estabelecer algumas generalidades conforme a discussão global das falas dos professores.

No Episódio 1 identificamos nas falas dos professores Antônio e Ricardo uma afinidade positiva sobre a perspectiva CTSA. As expressões "o trabalho que temos desenvolvido", "podemos dizer", "nos deve permitir" utilizadas pelo professor Antônio e as expressões "eu acho que", "eu o aplico e o entendo", "eu continuo insistindo", ditas pelo professor Ricardo, são marcas textuais da modalidade subjetiva. Embora nos dois casos a afinidade seja positiva, interpretamos nas falas duas formas de compreender a perspectiva CTSA.

Episódio 1 (EF Grupo 4)

> 48. *PU*: Bom! [...] A partir do trabalho *que temos desenvolvido* sobre abordagem de QSC, como vocês estão entendendo as relações entre a Ciência, a Tecnologia, as Sociedades e o Ambiente? [risadas dos professores]

49. *Antônio*: *O trabalho que temos desenvolvido* nos tem permitido até certo ponto aplicar o currículo CTSA. Primeiro que tudo, ao fazer esta autoavaliação, *podemos dizer* que houve uma mudança para avaliar. *Chamou-me a atenção* que apliquei um instrumento, no qual perguntava [para os estudantes] o que é CTSA. Eles me diziam que a Ciência se desenvolve na sociedade e o ambiente e que estas dimensões estão muito ligadas.

50. *Ricardo*: *Eu acho que* ao fazer uma revisão histórica se entende a preocupação do porquê surge todo esse movimento [CTSA] a partir de umas problemáticas determinadas. *Eu o aplico e o entendo* [o movimento CTSA] como essa preocupação que tenho neste momento para a formação de nossos estudantes. *Eu continuo insistindo* na formação integral. A Ciência é ensinada de forma rigorosa e descontextualizada e na educação rural isto é mais marcado, por causa de muitas situações. A tecnologia, nós já sabemos como se encontra [no contexto rural]. [Dizem] Vamos trabalhar no computador, porque isso é tecnologia e não mais. A parte do ambiente a trabalhar a Biologia e não há uma relação. [Ciências] Sociais, aborda a parte social, mas não estamos relacionando. No momento que começamos a fazer uma relação CTSA começamos a perceber que os estudantes também percebem que tudo está relacionado e a ideia é que os estudantes desenvolvam suas competências e habilidades para que analisem as situações, dessa forma o ensino é integral e não descontextualizado.

51. *Antônio*: CTSA *nos deve permitir* solucionar um problema, não somente com exemplos, mas algo mais.

No caso do professor Antônio, a perspectiva CTSA é compreendida como um enfoque didático que lhe possibilita trabalhar com seus estudantes o estabelecimento de relações entre a Ciência e a sociedade (turno 49, linhas 5 e 6). Por sua vez, o professor Ricardo compreende a perspectiva CTSA como um movimento que

trouxe novas reflexões sobre problemáticas sociais que podem ser atreladas à formação integral de seus estudantes; dessa maneira, o professor salienta a fragmentação das relações CTSA na realidade escolar ao indicar que a tecnologia é somente vista como informática ou uso de computadores, e o ambiente é tratado pela Biologia e a sociedade é tratada pela área de Ciências Sociais. Diante de tal fragmentação, ele considera que o trabalho com a perspectiva CTSA permite relacionar essas dimensões em sala de aula, oferecendo novas possibilidades para que seus estudantes desenvolvam habilidades que lhes permitam contextualizar a Ciência.

Os professores Antônio e Ricardo identificam em sua fala a voz dos estudantes diretamente relacionada com o trabalho que desenvolveram com a perspectiva CTSA, deixando entrever que, assim como eles avançaram em estabelecer relações entre a Ciência e a tecnologia na sociedade, seus estudantes também avançaram na mesma direção.

É interessante que o professor Ricardo representa indiretamente a voz de seus colegas de escola. Observamos que, nas linhas 18 a 26 no Episódio 1, o professor Ricardo desenvolve uma crítica ao ensino de Ciências descontextualizado da sociedade, o que é afirmado no contexto rural no qual ele trabalha. No momento em que ele se refere à área de Ciências Sociais, percebemos que está se referindo aos seus colegas dessa área, assim interpretamos de sua fala que a crítica é clara sobre o trabalho fragmentando que é realizado entre os professores de sua escola, a respeito da tecnologia, do ambiente e da sociedade. Justamente, na linha 25 do mesmo episódio, o professor Ricardo estabelece uma polidez negativa com respeito aos colegas que favorecem a fragmentação do conhecimento e em consequência ele se posiciona a favor da perspectiva CTSA que contribuiria a transcender a fragmentação. A crítica exposta pelo professor Ricardo sobre o ensino que foca nas disciplinas é ratificada na linha 27, na qual ele afirma implicitamente que o estabelecimento de relações CTSA contribuiria para a formação integral dos seus estudantes e na contextualização social do ensino desenvolvido por seus colegas.

O fato de o professor Ricardo questionar o ensino tradicional representando outras vozes da escola implica uma constituição de seu *ethos* de maneira diferente do professor Paulo, pois parece expressar um encorajamento mais claro de seu trabalho docente embasado na perspectiva CTSA, enquanto o professor Paulo deixa entrever certa aplicação da perspectiva CTSA sem levar em consideração maiores considerações pedagógicas.

No Episódio 2 também identificamos nas falas das professoras Fernanda, Roberta e Fátima a modalidade subjetiva, em virtude de que elas expressam afinidade sobre a perspectiva CTSA, pois lhes possibilitou trabalhar conteúdos de Ciências conforme suas implicações sociais.

Identificamos, no mesmo episódio, na fala do professor Paulo (turno 39) a modalidade objetiva porque, embora ele expresse afinidade sobre a perspectiva CTSA, a afinidade é expressa como se fosse algo externo ao seu próprio trabalho. Observamos que a fala do professor é construída na terceira pessoa e não há marcas textuais de modalidade subjetiva em contraste com as falas das professoras Fernanda, Roberta e Fátima. No entanto, apesar de o professor parecer perceber a perspectiva CTSA como algo externo, ele termina valorizando positivamente essa perspectiva e ainda alerta sobre a dificuldade envolvida no estabelecimento de relações entre a Ciência e a tecnologia na sociedade, constituindo, dessa forma, uma polidez positiva alertando que o campo das relações CTSA não é algo tranquilo ou fácil, exigindo, pois, um ponto de vista determinado.

Episódio 2 (EF Grupo 2)

37. *PU*: Bom! Em primeiro lugar, de acordo com as respostas que vocês indicaram sobre Ciência e a tecnologia no primeiro trabalho que fizemos [Apêndice C], vocês concordavam com o exposto naquele momento e vocês indicavam que a tecnologia era a aplicação da Ciência. Bom! Diante disso, gostaria que vocês falassem como vocês estão

entendendo a relação entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente.

38. *Fernanda*: Bom! É uma relação recíproca, *nas quais consideramos as im*plicações sociais da Ciência e a tecnologia, não somente *eu considero* essas implicações, mas também os estudantes. Por exemplo, na QSC que estou trabalhando, as concepções que eles tinham sobre a tecnologia estavam relacionadas com um computador, um *ipod* ou a internet e pensavam que a Ciência e a tecnologia sempre beneficiam ao mundo. Mas depois de ir trabalhando alguns debates, eles se foram sensibilizando e mudando sua visão positiva ou negativa. Então, essa relação é recíproca e é difícil de separar, porque o tempo todo se relaciona. Agora paramos para pensar nas implicações e também paramos para pensar sobre qual é nosso papel. Eles se enxergam no futuro que podem fazer. E eu no que posso fazer como docente.

39. *Paulo*: As relações CTS implicam entender que a Ciência e a tecnologia são o resultado uma da outra e implicam também uma postura ética, política e econômica, aí está a questão que o *PU* falava; considerar benefícios e riscos, pois tem a ver com PIB [produto interno bruto do país] e com muitas coisas. Na verdade não é uma relação tranquila, implica um ponto de vista.

40. *Fátima*: Eu acho que é um novo microcurrículo que permite interpretar muitas coisas. É muito importante a pesquisa, a parte social e logicamente o conteúdo [de Ciências]. Algo que detectei foi que tive certa apatia sobre a dimensão social, então [porque] meus conceitos bioquímicos ficavam por lá [afastados] e não sabia que tão pertinente [era a perspectiva CTSA]. A gente deve estar muito atenta para enfrentar a CTSA, para que meus conceitos bioquímicos não fiquem afastados. O professor deve estar preparado para delimitar muito bem a QSC.

41. *Roberta*: Penso que nessa abordagem [CTSA] a gente tem a oportunidade de ver a relação Ciência e tecnologia e

eu tenho descoberto nas análises mais aprofundadas com os estudantes o tipo de conhecimentos que produz cada um deles. Percebo que na tecnologia os conhecimentos são mais aplicáveis e os conhecimentos científicos fazem parte de um campo de profundização mais especializado. Tecnologias são aqueles campos especializados que a Ciência produz. Gostaria de colocar algo relacionado com o dito pela Fátima e quando trabalhamos uma questão [socio-científica] o conhecimento disciplinar [das Ciências] é muito importante porque a gente pode trabalhar a questão em muitos aspectos e o que eu tenho sentido é que fiquei muito no macro [no geral] e tenho chegado pouco ao micro [o particular], porque precisamente as coisas sociais se consideram desde o macro, então ainda não consegui chegar ao micro, essa fundamentação teórica e esse limite devem ser considerados em algum momento e a gente não pode ficar nessas coisas tão amplas, porque tem o risco de não ter o tempo.

42. *Paulo*: Essa é uma discussão muito ampla e é precisamente um tema de pesquisa da perspectiva CTSA que tem a ver com o grau de conhecimentos que favorecem a formação de cidadãos, porque para a formação de cidadãos eu trabalharia mais a parte da tomada de decisão sobre situações ambientais, para que eles se preparem para participar, mas também implica a formação de cientistas de que precisa a sociedade, então é o cuidado que a gente precisa ter para saber qual é o âmbito que desejo favorecer, então se eu quero favorecer a formação de cidadãos devo pensar em que tipo de conhecimentos são necessários.

No caso da professora Fátima, observe-se que na linha 33 do Episódio 2 a expressão "Algo que detectei foi que tive certa apatia sobre a dimensão social, então [porque] meus conceitos bioquímicos ficavam por lá e não sabia que tão pertinente [afastados]" representa a polidez negativa utilizada pela professora, pois em

comparação com o professor Paulo não é realizada uma simples advertência, mas uma ameaça por parte da perspectiva CTSA sobre o ensino de Ciências focado em conteúdos específicos de Bioquímica, essa ameaça é reafirmada pela professora Fátima quando ela expressa "e não sabia que tão pertinente [era a perspectiva CTSA]", embora a frase não seja finalizada parece manifestar que ela não sabia que tão pertinente era a perspectiva CTSA em termos do ensino de conteúdos específicos de Ciências. Contudo, a ameaça expressa pela professora é mitigada nas linhas 35 a 39, tornando-se uma polidez positiva, no momento em que ela adverte dos cuidados que devem ser levados em consideração para que os conteúdos de Ciência, não sejam colocados em risco quando se trabalha com a perspectiva CTSA. Interpretamos da fala da professora Fátima que a perspectiva CTSA pode oferecer novas possibilidades para seu ensino, sempre e quando não se afastar dos conteúdos bioquímicos que ela pretende ensinar, e também pode ser possível se o professor delimitar com clareza a QSC de seu interesse.

Nas linhas 48 a 58 do Episódio 2 notamos que a professora Roberta também valoriza os conteúdos disciplinares das Ciências e estabelece de forma interdiscursiva a polidez positiva expressa na fala da professora Fátima, pois ela também alerta sobre os riscos que se tomam no momento de trabalhar a perspectiva CTSA, uma vez que pode reduzir o ensino ao trabalho de aspecto sociais gerais em detrimento de aspectos particulares disciplinares das Ciências. No entanto, a professora Roberta não estabelece com clareza que a perspectiva CTSA possa prejudicar o ensino de conteúdos específicos de Ciências mitigando esse efeito em comparação com a professora Fátima. Dessa forma, fica em aberto a possibilidade de focar a perspectiva CTSA nos conteúdos de Ciências, sem deixar de considerar os aspectos sociais mais amplos.

No turno 42 do mesmo episódio, observamos que o professor Paulo questiona de certa forma a polidez [advertência ou ameaça] estabelecida pelas professoras Fátima e Roberta, uma vez que considera a questão dos conteúdos de Ciências na perspectiva CTSA como um tema de pesquisa que implica um cuidado particular do

professor de Ciência, em termos do que ele privilegia em suas aulas quando tem o objetivo de formar cidadãos. Dessa forma, podemos dizer que ele não estabelece a divisão entre os conteúdos de Ciência e os conteúdos sociais que privilegiam a perspectiva CTSA, pois valoriza os dois tipos de conteúdos que indicariam o desenvolvimento da perspectiva CTSA, cujo objetivo é a formação de cidadãos.

As análises realizadas sobre a modalidade e a polidez nas falas das professoras Fernanda, Roberta e Fátima e a fala do professor Paulo nos ajudam a caracterizar a forma como eles compreendem a perspectiva CTSA de diferentes formas.

No caso da professora Fernanda e do professor Paulo, a perspectiva CTSA é entendida como o estabelecimento recíproco de relações entre a Ciência e a tecnologia na sociedade. Para os dois professores, o estabelecimento dessas relações possibilita entender as implicações positivas ou negativas da Ciência e da tecnologia.

A professora Fátima, apesar de ter expressado uma afinidade positiva sobre a perspectiva CTSA – "Eu acho que é um novo microcurrículo que permite interpretar muitas coisas" (linha 30, Episódio 2) –, essa modalidade foi atenuada em termos discursivos pela polidez negativa desvelada de sua fala. Assim, percebemos que essa professora compreende a perspectiva CTSA como uma forma pedagógica de contextualizar socialmente os conteúdos de Ciências que ela ensina (Bioquímica), mas não é entendida como uma perspectiva que perpasse transversalmente o ensino de conteúdos específicos, pois para isto seria necessário transcender da abordagem disciplinar para uma abordagem interdisciplinar contemplada na perspectiva CTSA.

A diferença do ensino de Ciências tradicional, que parte de conteúdos disciplinares das Ciências, e o ensino de Ciências embasado na perspectiva CTSA partiria da discussão sobre a QSC, o que abrange necessariamente conhecimentos das Ciências da Natureza e das Ciências Sociais.

No caso da professora Roberta, a perspectiva CTSA é compreendida em termos do trabalho docente que realiza com seus estudantes e que lhe possibilita valorizar as implicações sociais da

Ciência. No entanto, desvelamos da fala dessa professora (linhas 44 a 46, Episódio 2) que a tecnologia é compreendida como aplicação da Ciência e dessa forma a Ciência seria "um campo de aprofundamento" no qual se constroem conhecimentos que posteriormente podem ser de utilidade para aplicações tecnológicas. Essa forma de entender a tecnologia como aplicação de conhecimentos científicos, historicamente, corresponde a um discurso tradicional sobre a tecnologia que a entende como aplicação de conhecimentos científicos e produtora de instrumentos e aparelhos. Essa visão tradicional da tecnologia tem sido amplamente diagnosticada pelas pesquisas com respeito às relações CTS(A) (Acevedo, 2000; Acevedo, Vásquez & Manassero 2002; Acevedo et al., 2002; Acevedo et al., 2005).

Consideramos importante analisar essa visão tradicional sobre a tecnologia não só conforme a fala da professora Roberta, mas também analisar essa visão enquanto sua constituição discursiva histórica. Nesse sentido, López, González & Luján (2002) caracterizam a visão tradicional da tecnologia como um conjunto de leis, regras e práticas que resultam do saber fazer das engenharias, bem como o conjunto de artefatos ou sistemas materiais elaborados a partir desse saber. Essa visão envolve uma ideologia instrumental do progresso tecnológico que historicamente supõe a tecnologia e a Ciência com conhecimentos neutros e, portanto, independentes de qualquer sistema sociopolítico e cultural. De acordo com essa ideologia, qualquer tecnologia pode ser transferida de um país para outro, de modo que ela permanece essencialmente sob as mesmas normas de eficiência independentemente do contexto no qual será implantada.

A crítica à visão tradicional da tecnologia nasceu na década de 1970 e tem se estendido até nossos dias. O fundamento da crítica teve foco na aparente autonomia e neutralidade do progresso tecnológico que foi questionada, uma vez que foram valorizados os aspectos sociais e os valores adjacentes à mudança tecnológica, de modo que a tecnologia não era mais um empreendimento autônomo, mas uma atividade humana desenvolvida em determinados contextos sociais, econômicos e políticos.

No Episódio 3 também identificamos na fala da professora Natalia uma compreensão tradicional da tecnologia, dessa vez relacionada com a construção de artefatos; essa compreensão é construída no cotidiano da professora, uma vez que a sociedade está saturada de artefatos que fazem parte da vida das pessoas e por essa razão a professora considera que é difícil mudar essa compreensão tradicional da tecnologia. No entanto, o fato de ela refletir sobre a dificuldade de superar o percebido no cotidiano representa um indício de que as discussões desenvolvidas com a professora contribuíram de alguma forma para pensar essa visão sobre a tecnologia.

Episódio 3 (EF Grupo 6)

> 46. *PU*: Vocês, em suas respostas expressas no primeiro trabalho que realizamos [Apêndice C] indicavam que trabalhavam as implicações da Ciência e a tecnologia na sociedade, entendendo a tecnologia como uma aplicação da Ciência. Vocês como estão entendendo a tecnologia e suas relações com a Ciência, a sociedade e o ambiente?
> 47. *Laura*: Chamou-me a atenção que eu mudei essa visão, porque a tecnologia não é simples aplicação [da Ciência], não é só o aparelho, é uma construção coletiva. É a construção de um conhecimento.
> 48. *Cristina*: Por exemplo, eu pedi para eles [os estudantes], em uma atividade que se chama características de habilidades que registrassem aspectos sobre a máquina a vapor, lógico que não podemos conseguir isso [a máquina] e não porque seja funcional estaria a tecnologia, aí há uma construção, então [a tecnologia] é como essa construção de pensamento.
> 50. *Natalia*: A tecnologia é para construir um conhecimento, mas está vinculada a equipamentos ou aos aparelhos que necessitamos no dia a dia e que sem eles não poderíamos viver. A internet, as ligações, ah! Por exemplo,

> tinha que ligar para avisar que não assistiria a um encontro e demorei, gastei dinheiro, a mensagem voltava, enfim. Para mim, a tecnologia é imprescindível para as escolas, para as políticas e para as pessoas. Uma pessoa que não tenha celular como que fica parada. É difícil, para mim, mudar essa concepção da tecnologia e pensá-la em termos de construção social, eu a relaciono com aparelhos.
>
> 51. *Roberto*: Basicamente, eu entendo a tecnologia relacionada com o currículo e a necessidade de melhorar a qualidade acadêmica. Então, eu considero a tecnologia com a necessidade de dar resposta a um problema do cotidiano e nesse cotidiano está a construção de conhecimento, não somente na ferramenta [nos instrumentos, aparelhos, etc.], mas em termos de pesquisa, pois eles [os estudantes] devem elaborar um projeto final, então a tecnologia nós trabalhamos a partir desse ponto de vista, em termos da solução de um problema prático que deviam dar conta ao final do ano. E como o faço? Fazendo uma pesquisa educativa formativa.

Em contraste com a compreensão tradicional da tecnologia caracterizada nas falas das professoras Roberta e Natalia, identificamos na fala do professor Roberto (Episódio 3, turno 51), uma compreensão diferente do tema, relacionada com a resolução de problemas práticos por parte de seus estudantes. Dessa forma, ele entende a questão da tecnologia vinculada a processos educativos, nos quais não pode ser vista como simples artefato, mas envolvendo processos criativos em que os estudantes podem se engajar para desenvolver um determinado projeto sobre um problema prático.

Interpretamos da fala do professor Roberto uma compreensão da tecnologia como uma atividade humana orientada à solução de problemas práticos, o que também pode incluir a elaboração de artefatos ou produtos como consequência de um processo técnico, mas que não é reduzido a esse processo.

No turno 47 do Episódio 3, também notamos que a professora Laura questiona a ideia da tecnologia entendida como aplicação da Ciência e expressa entendê-la com uma construção coletiva de pensamento; da mesma forma, a professora Cristina (turno 48) considera a tecnologia atrelada à construção de pensamento.

As falas do professor Roberto e das professoras Laura e Cristina nos indicam a compreensão da tecnologia de uma forma diferente, que em termos históricos, segundo López, González & Luján (2002), incorporaria tanto os aspectos técnicos da visão tradicional quanto os aspectos culturais e sociais da tecnologia. Assim, a tecnologia é vista como processo e produto: politicamente constituída e socialmente contextualizada. Essa nova visão da tecnologia está aberta à inovação e à intervenção ambiental, o que envolve uma recontextualização da tecnologia focada nos aspectos organizativos e culturais dos sistemas tecnológicos e dos artefatos, vistos como produtos de interações sociais.

Nesse sentido, a perspectiva CTSA oferece uma forma diferente de entender a tecnologia, que valoriza impactos, riscos e outros aspectos sociais associados ao progresso tecnológico. Tendo como base as ideias de López, González & Luján (2002), elaboramos o Quadro 1, no qual apresentamos as características da perspectiva tradicional da tecnologia e apontamos a nova forma de entender a tecnologia pela perspectiva CTSA.

De acordo com os registros sistematizados no Quadro 2, podemos dizer que um considerável número de professores (Fernanda, Fátima, Camila, Edvaldo, Mauricio, Vinicius, Paulo e Lucas) expressou a afinidade subjetiva (modalidade subjetiva) com a perspectiva CTSA, valorizando as contribuições dessa perspectiva para o estabelecimento de relações entre a Ciência e a tecnologia na sociedade. Os professores (Antônio, Roberta e Fátima) que expressaram a afinidade objetiva (modalidade objetiva) também valorizaram externamente as contribuições da perspectiva, pois valorizavam em parte a perspectiva CTSA como se fossem avaliadores da mesma e não como professores que se encorajavam subjetivamente em seu desenvolvimento.

Quadro 1 – Contribuições dos estudos CTSA sobre uma nova compreensão da tecnologia e suas relações com a Ciência e a sociedade

	Impacto e riscos	Aspectos sociais e técnicos	Variação e seleção	Viabilidade social e regulação
Perspectiva tradicional	– Os impactos e riscos são inerentes à tecnologia.	– Parte-se da distinção absoluta entre aspectos sociais e tecnológicos.	– A variação e seleção na mudança tecnológica são concebidas como processos independentes.	– A viabilidade social da tecnologia depende de sua eficiência interna.
Perspectiva CTSA	– Os impactos e riscos das tecnologias devem ser abordados de acordo com percepções, significados e atitudes de vários grupos sociais. – A avaliação de riscos depende de fatores como: equidade social e ameaças das liberdades individuais.	– Os interesses sociopolíticos e econômicos influem no desenvolvimento da tecnologia. Da mesma forma, as estruturas sociais estão definidas pela tecnologia.	– Os processos de variação e seleção tecnológica estão conectados com o fim de que a informação flua nas etapas das mudanças tecnológicas.	– A viabilidade da tecnologia depende de aspectos sociais, organizativos e institucionais. – A viabilidade social de um projeto tecnológico não depende somente dos critérios definidos por especialistas, mas também da aceitação dos cidadãos.

Fonte: Martínez (2010), quadro realizado segundo López, González & Luján (2002).

Quadro 2 – Afinidade dos professores com a perspectiva CTSA

Elementos de análise	Entrevista focal – Grupo 1	Entrevista focal – Grupo 2	Entrevista focal – Grupo 3
Modalidade	36. *PU*: [...] Gostaria que vocês falassem como estão entendendo a relação entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente? 37. *Mauricio*: [...] A parte da Química, a parte experimental estava, mas não estava a dimensão humana, então avancei em considerar as consequências da Ciência; então nessas relações [CTSA] vai a dimensão humana. 38. *Vinicius*: Eu as considero [as relações CTSA] em meu projeto, antes as considerava como disse Mauricio [na parte disciplinar das Ciências], porque desconhecia essa forma de trabalhar. 38. *Lucas*: Considero essa perspectiva [CTSA] para trabalhar os componentes éticos. A gente percebe que não existem somente os benefícios [da Ciência], mas também se percebe que é necessário gerar uma mudança.	37. *PU*: [...] Gostaria que vocês falassem, como estão entendendo a relação entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente? 38. *Fernanda*: Bom! É uma relação recíproca, nas quais consideramos as implicações sociais da Ciência e a tecnologia, não somente eu considero essas implicações, mas também os estudantes. [...] Agora paramos para pensar as implicações e também paramos para pensar sobre qual é nosso papel. Eles se enxergam no futuro que podem fazer. E eu no que posso fazer como docente. 39. *Paulo*: As relações CTS implicam entender que a Ciência e a tecnologia são o resultado uma da outra e implicam também uma postura ética, política e econômica... 40. *Fátima*: Eu acho que é um novo microcurrículo que permite interpretar muitas coisas. É muito importante a pesquisa, a parte social e logicamente o conteúdo [de Ciências]... 41. *Roberta*: Penso que nessa abordagem [CTSA], a gente tem a oportunidade de ver a relação Ciência e tecnologia e eu tenho descoberto nas análises mais aprofundadas com os estudantes o tipo de conhecimentos que produz cada um deles...	32. *PU*: Como vocês estão compreendendo as relações CTSA depois de ter abordados suas QSC? 33. *Simone*: É como um ciclo, por quê? A Ciência vai atrelada à tecnologia que tem sido produtiva na sociedade, uma coisa vai dentro da outra em benefício de melhores condições de vida. Se nós conseguimos fazer entender [aos estudantes] que cada coisa [CTS] faz parte do ciclo, será bastante produtivo. 34. *Camila*: Eu mudaria a palavra ciclo pela palavra integração, porque penso que temos conseguido essa compreensão de integração para trabalhá-la com os estudantes... 35. *Edvaldo*: Sim! Não são [a Ciência, a tecnologia e a sociedade] excludentes, mas complementares e podemos ver que através da história as três coisas vão de mãos dadas. Elas vão integradas.

(cont.)

(continuação)

Elementos de análise	Entrevista focal – Grupo 1	Entrevista focal – Grupo 2	Entrevista focal – Grupo 3
Polidez		40. *Fátima*: [...] Algo que detectei foi que tive certa apatia sobre a dimensão social, então [porque] meus conceitos bioquímicos ficavam por lá [afastados] e não sabia que tão pertinente [era a perspectiva CTSA]... 41. *Roberta*: Gostaria de colocar algo relacionado com o dito pela Fátima e quando trabalhamos uma questão [sociocientífica] o conhecimento disciplinar [das Ciências] é muito importante porque a gente pode trabalhar a questão em muitos aspectos e o que eu tenho sentido é que fiquei muito no macro [no geral] e tenho chegado pouco ao micro [o particular]...	

(cont.)

(continuação)

Elementos de análise	Entrevista focal – Grupo 1	Entrevista focal – Grupo 2	Entrevista focal – Grupo 3
Modalidade	48. *PU*: Bom! [...] A partir do trabalho que temos desenvolvido sobre abordagem de QSC, como vocês estão entendendo as relações entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedades e o Ambiente? [risadas dos professores] 50. *Ricardo*: Eu acho que ao fazer uma revisão histórica se entende a preocupação de por que surge todo esse movimento [CTSA] a partir de umas problemáticas determinadas. Eu o aplico e o entendo [o movimento CTSA] como essa preocupação que tenho neste momento para a formação de nossos estudantes. 51. *Antônio*: CTSA nos deve permitir solucionar um problema, não somente com exemplos, mas algo mais.	50. *PU*: Como entendem a relação da tecnologia com a Ciência e a sociedade? 51. *Angélica*: É uma relação dinâmica que se está renovando a cada momento. É uma relação que não está desvinculada dos posicionamentos políticos, econômicos e sociais que a gente evidenciou durante o desenvolvimento da questão sociocientífica. Por exemplo, o posicionamento do professor tem um papel importante. 52. *Isabel*: Eu vejo essa relação como uma construção social entre a Ciência e a tecnologia, é um trabalho colaborativo. Uma não se pode desligar da outra nem se pode dar mais importância a uma, elas têm a mesma importância.	51. *Roberto*: Basicamente, eu entendo a tecnologia relacionada com o currículo e a necessidade de melhorar a qualidade acadêmica. Então, eu considerei a tecnologia com a necessidade de dar resposta a um problema do cotidiano e nesse cotidiano está a construção de conhecimento, não somente na ferramenta [nos instrumentos, aparelhos, etc.], mas em termos de pesquisa, pois eles [os estudantes] devem elaborar um projeto final, então a tecnologia nós trabalhamos a partir desse ponto de vista, em termos da solução de um problema prático de que deviam dar conta ao final do ano. E como o faço? Fazendo uma pesquisa educativa formativa.
Polidez	49. *Antônio*: O trabalho que temos desenvolvido nos tem permitido até certo ponto aplicar o currículo CTSA. Primeiro que tudo, ao fazer esta autoavaliação, podemos dizer que houve uma mudança para avaliar.		

Fonte: Martínez (2010).

Alguns professores ainda compreendem a perspectiva CTSA como uma forma pedagógica de contextualizar socialmente os conteúdos de Ciências, o que representa um avanço, mas os esforços podem ser mais bem encaminhados para que a perspectiva CTSA não seja vista apenas como uma forma de contextualização social, mas como uma abordagem interdisciplinar e problemática do ensino de Ciências que parte de questões sociocientíficas.

Na medida em que o ensino de Ciências embasado na perspectiva CTSA parta de QSC, serão oferecidas maiores possibilidades para abordar as implicações sociais e políticas da Ciência e da tecnologia. Contudo, a abordagem dessas questões na prática dos professores de Ciências em serviço representa um desafio, em razão de que os professores enfrentam a incerteza de deixar de trabalhar conteúdos específicos de Ciências, que eles consideram que devem ser passados para seus estudantes. No entanto, a fala da professora Fernanda (Episódio 4) serve de exemplo para ilustrar que é possível trabalhar os conteúdos específicos de Ciências durante a abordagem de QSC, mas que esse trabalho tem sentido desde que seja realizado transversalmente.

Episódio 4 (EF Grupo 2)

> 11. *Fernanda*: [...] Eu deveria ter terminado de abordar o tema de genética no primeiro período [acadêmico], mas continuo [trabalhando] com genética, vou continuar com o tema, eles estão interessados [os estudantes] e devo abordar outros temas, mas aos poucos vou articulando-os com a mesma QSC [a experimentação com animais]. Além de abordar os outros temas, é necessário que os estudantes possam desenvolver suas habilidades [de pensamento crítico] e possam interpretar seu contexto. Com isso, eu fico tranquila, porque não me incomoda se não abordo todos os temas, igual, tenho um ano para abordá-los. O que me interessa é o que fica no estudante, então não tenho essa posição [de abordar todos os

> conteúdos estabelecidos no currículo] e seria interessante que os colegas [da escola] olhem que é uma estratégia boa [a abordagem de QSC] e que a possam desenvolver, porque é enriquecedora. A única professora que tem gostado do meu trabalho é a professora de espanhol, porque os estudantes lhe dizem: "vamos argumentar", então eles começam a razão é tal, a análise é tal, a conclusão é tal, ou seja, que eles estão desenvolvendo o que tem trabalhado comigo. Então com ela [a professora de espanhol] posso realizar um trabalho interdisciplinar que me parece muito importante.

A fala da professora Fernanda também é um exemplo da construção crítica de sua autonomia, na medida em que seu trabalho docente é valorizado em virtude da formação de seus estudantes e do possível trabalho coletivo que poderia ser realizado com seus colegas.

Assim, concordamos com Solomon (1993), Aikenhead (1994) e Pedretti et al., (2008) que a perspectiva CTSA não coloca em perigo o ensino dos conteúdos de Ciências, ao contrário pode ajudar a aumentar o interesse dos estudantes e também pode fomentar a construção de novos valores que favoreçam melhores aprendizados coletivos de Ciências.

O importante, talvez, seja enfrentar o desafio proposto pela perspectiva CTSA de transformar a forma como tradicionalmente têm se ensinado Ciências. Tal desafio educacional envolve uma preocupação principalmente prática e por essa razão a abordagem de QSC abre novas possibilidades para encorajar os professores em processos de inovação e transformação de sua prática, na medida em que essas transformações são alcançadas coletivamente.

Considerações finais

A partir das análises realizadas, podemos dizer que a maioria dos professores participantes da pesquisa manifestou uma afinidade

subjetiva sobre a perspectiva CTSA, uma vez que a abordagem de QSC lhes possibilita trabalhar implicações sociais da Ciência e da tecnologia.

Da mesma forma que foi apontada na pesquisa realizada por Pedretti et al. (2008), nossa pesquisa salienta que a perspectiva CTSA a partir de QSC não desconsidera o ensino de conteúdos disciplinares de Ciências, valorizando seu papel na construção de posicionamentos críticos sobre as implicações socioambientais do progresso científico e tecnológico.

Destacamos para a realização de outros trabalhos o desafio de desenvolver pesquisas no campo da formação de professores de Ciências, particularmente interessados em explorar as potencialidades da perspectiva CTSA a partir de QSC, bem como as potencialidades da análise de discurso crítica para estudos práticos e processos discursivos atrelados a essa perspectiva.

Referências bibliográficas

ACEVEDO, J. Algunas creencias sobre el conocimiento científico de los profesores de educación secundaria en formación inicial. *Bordón*, v.52, n.1, p.5-16, 2000. Disponível em <http://www.oei.es/salactsi/acevedo18.htm>. Acesso em 15/6/2008.

_____, VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M. Evaluación de actitudes y creencias CTS: diferencias entre alumnos y profesores. *Revista de Educación*, n.328, p.355-82, 2002. Disponível em <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo14.htm>. Acesso em 20/6/2008.

_____, VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M., ACEVEDO, P. Persistencia de las actitudes y creencias CTS en la profesión docente. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v.1, n.1, 2002. Disponível em <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen1/Numero1/Art1.pdf>. Acesso em 25/6/2008.

_____. Aplicación de una nueva metodología para evaluar las creencias del profesorado sobre tecnología y su relación con la Ciencia. *Educación Química*, v.16, n.3, p.372-82, 2005.

AIKENHEAD, G. What is STS teaching? In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. (Org.). *STS education*: international perspectives on reform. Nova York: Teachers College Press, 1994. p.47-59.

CARR, W., KEMMIS, S. *Teoría crítica de la enseñanza*: la investigación-acción en la formación del profesorado. Trad. J. A. Bravo. Barcelona: Martínez Roca, 1988. 244p.

FAIRCLOUGH, N. *Discurso e mudança social*. Trad. Izabel Magalhães (Coord.). Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 316p.

LÓPEZ, J. Los estúdios Ciencia, Tecnologia y Sociedad. *Innovación y Ciencia*, v.9, n.2, p.59-65, 2000.

_____, GONZÁLEZ, M., LUJÁN, J. Las raíces de la controversia. In: LÓPEZ, J., GONZÁLEZ, M. *Políticas del bosque*. Madri: Cambridge University Press. 2002. p.97-117.

MARTÍNEZ, L. *A abordagem de questões sociocientíficas na formação continuada de professores de Ciências*: contribuições e dificuldades. Bauru, 2010. Tese (doutorado) – Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista. Disponível em <http://www2.fc.unesp.br/BibliotecaVirtual/DetalhaDocumentoAction.do?idDocumento=325#>. Acesso em 20/11/2010.

PEDRETTI, E., BENCZE, L., HEWITT, J., ROMKEY, L., JIVRAJ, A. Promoting Issues-based STSE: perspectives in Science Teacher education: problems of identity and ideology. *Science & Education*, v.17, n.8-9, p.941-60, 2008.

SCHÖN, D. Formar professores como profissionais reflexivos. In: NOVOA, A. (Org.). *Os professores e sua formação*. Trad. Cunha, Hespanha, Afoso, Tavares. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1997. p.77- 91.

_____. *Educando o profissional reflexivo*: um novo *design* para o ensino e aprendizagem. Porto Alegre: Artes Médicas, 2000. 256p.

SOLOMON, J. *Teaching science, technology and society*. Buckingham, U. K.: Open University Press. 1993.

5

Estudo do termo densidade como obstáculo verbal para compreensão de conceitos em Química

Alexandre Geraldo Viana Faria[1]
Maria Celina Piazza Recena[2]

Introdução

Em sala de aula nos deparamos com ideias equivocadas dos alunos sobre conceitos científicos, muitas das quais se repetem e são evidenciadas constantemente. Em aulas de Química no ensino médio, constata-se que para a pergunta "O óleo e a água se misturam? Por quê?", recorrentemente as respostas dadas afirmam que essas substâncias não se misturam devido à diferença de densidades, ou simplesmente por causa da densidade. Nessa situação, tanto a pergunta como a resposta nos levam a questionamentos sobre o ensino de conceitos fundamentais da Química e sua abordagem nos livros didáticos.

1. Professor BTT mestre do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. *e-mail*: alexandre.faria@ifms.edu.br.
2. Professora associada doutora, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Departamento de Química, professora do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. *e-mail*: celina.recena@ufms.br.

Essas reflexões foram a motivação para o desenvolvimento de nossas pesquisas no âmbito do mestrado em Ensino de Ciências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Procuramos entender por que os alunos evocam a densidade para explicar o fenômeno e delinear uma alternativa de abordagem em sala de aula que levasse à superação dessa explicação. Encontramos apoio nas ideias de Gaston Bachelard, em especial sobre obstáculos epistemológicos, para sistematizarmos nossas investigações. Este artigo relata parte da pesquisa delineada na dissertação "Densidade × forças intermoleculares – uma proposta de superação de um obstáculo epistemológico" (Faria, 2009), especificamente sua primeira etapa, que ofereceu indícios de fatores possíveis para indicação da densidade como explicação.

Muitos pesquisadores se apoiaram em Bachelard para desenvolver reflexões no âmbito do ensino de Ciências. Especificamente na área de Química, houve uma influência acentuada nas pesquisas a partir da publicação, em 1990, do livro *Bachelard e a Química*: no ensino e na pesquisa, de Letícia Parente, marcando a divulgação mais ampla do pensamento do epistemólogo no ensino de Ciências e especificamente em relação à Química. Pesquisas considerando esse referencial foram marcos importantes para a reflexão dos educadores com relação ao processo de construção do conhecimento de Química. Lopes (1993a, 1996) analisou os obstáculos epistemológicos em livros didáticos (1992, 1993b), e Oliveira (1995), o substancialismo na Química. Trabalhos de Mortimer (1995, 1996) abordaram o perfil epistemológico, discutindo o processo de mudança conceitual.

Bachelard e os obstáculos epistemológicos

A vida de Gaston Bachelard, epistemólogo francês, foi fortemente marcada por profundas e bruscas mudanças de rumo, tanto profissional como intelectual. Com pretensões de se tornar engenheiro, estudou Matemática enquanto trabalhava nos correios,

mas, devido à guerra de 1914-1918, seu projeto foi substituído por uma carreira no magistério secundário, ensinando Química e Física. Aos 35 anos, outra mudança se processa: começa novos estudos, agora de Filosofia, que também passa a lecionar. Após os 40 anos, inicia uma série de publicações e, já na primeira, *Ensaio sobre o conhecimento aproximado*, de 1928, aparece uma das teses centrais de seu trabalho epistemológico: a ideia de que a abordagem do objeto científico deve ser feita por meio do uso sucessivo de diversos métodos, já que cada um deles seria destinado a se tornar primeiro obsoleto, pois, conforme o epistemólogo, a verdade científica é algo em processo, nunca é absoluta e imutável e, como consequência, qualquer que seja o método utilizado, com o tempo, estaria fadado a ser superado. Em segunda análise, o método se tornaria nocivo, já que seu uso constante poderia levar o pesquisador a acreditar na sua infalibilidade. A natureza obsoleta e nociva dos métodos científicos mais tarde veio a ser chamada de "aproximacionalismo" e levanta a questão de que o discurso científico é circunstancial (Bachelard, 1983).

Em consonância com as grandes mudanças científicas do século XX, como a teoria da relatividade geral e a Física quântica, Bachelard publica *O novo espírito científico* em 1934, no qual sintetiza sua epistemologia não cartesiana que o levou a combater o tradicionalismo presente no ensino – mostrando que devemos repensar a Ciência e, consequentemente, a maneira de ensiná-la, abrindo espaço inclusive para a Ciência do humano (Bachelard, 1978). Isso origina a proposta de uma pedagogia nova, calcada na libertação das mentes jovens, vinculando-as à pesquisa científica, e que três anos mais tarde vai dar origem a uma de suas obras mais importantes: *A formação do espírito científico*, na qual analisa os mais diversos obstáculos que devem ser superados para que se estabeleça um pensamento científico adequado. Em seu prefácio anuncia:

> Nossa proposta, neste livro, é mostrar o grandioso destino do pensamento científico abstrato. Para isso, temos de provar que pensamento abstrato não é sinônimo de má consciência científica, como

> parece sugerir a acusação habitual. Será preciso provar que a abstração desobstrui o espírito, que ela o torna mais leve e mais dinâmico. Forneceremos essas provas ao estudar mais de perto as dificuldades das abstrações corretas, ao assinalar a insuficiência dos primeiros esboços, o peso dos primeiros esquemas, ao sublinhar também o caráter discursivo da coerência abstrata e essencial, que nunca alcança seu objetivo de um só golpe. E, para mostrar que o processo de abstração não é uniforme, chegaremos até a usar um tom polêmico ao insistir sobre o caráter de obstáculo que tem toda experiência que se pretende concreta e real, natural e imediata. (Bachelard, 1996, p.8)

A preocupação de Bachelard, nessa obra, foi essencialmente a de acompanhar o desenvolvimento da racionalidade, aqui entendida como a compreensão científica de fenômenos, e vê-la atuando em todos os domínios do conhecimento, livre dos fantasmas das intuições, dos preconceitos do conhecimento vulgar, das aparências das primeiras impressões, da força das imagens e palavras que teimam em explicar sem base teórica. Um importante aspecto de seu pensamento foi o de investigar as relações entre a produção de conhecimento e o erro. Segundo Bachelard, o ato de conhecer depende da postura do sujeito conhecedor, pois é determinante no que diz respeito ao obstáculo epistemológico e ao erro. Vale lembrar que o conceito de erro para Bachelard não é o mesmo adotado pelo senso comum, que insiste em refutá-lo, abandonando-o assim que é identificado. Na epistemologia bachelardiana, essa postura não é adotada, pois se considera o erro necessário ao aprendizado, já que "o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos" (Bachelard, 1996, p.17). É a partir da superação do erro que se atinge um avanço no conhecimento científico, pois a prática científica não se caracteriza por um simples acúmulo de conhecimentos sem conflitos, e sim de questionamentos dos erros. Mas, na contramão dessa postura, quando o erro é protegido e/ou defendido, ele transforma-se em obstáculo epistemológico.

Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da Ciência, logo se chega à convicção de que é "em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado" (Bachelard,1996, p.17). Bachelard entende por obstáculos as causas de inércia, de estagnação e até mesmo de regressão a que todos estamos sujeitos no ato de conhecer. Esses obstáculos epistemológicos abordados por Bachelard (1996) podem ser: a experiência primeira; o conhecimento geral; substancialista; animista; do conhecimento utilitário e pragmático; realismo, do conhecimento quantitativo; substancialista e verbalista.

Para Bachelard (1996, p.25), a experiência primeira, ou a observação primeira, "é sempre um obstáculo inicial para a cultura científica. De fato, essa observação primeira se apresenta repleta de imagens: é pitoresca, concreta, natural, fácil. Basta descrevê-la para se ficar encantado. Parece que a compreendemos". Na formação do pensamento científico, é importante considerar a experiência primeira, pois é um pensamento colocado antes e acima da crítica que, para Bachelard, é justamente o elemento fundamental para a compreensão das ciências. Sem a ação da crítica, a experiência se torna estéril e fútil e não pode ser usada como apoio seguro do conhecimento científico.

Sobre o obstáculo decorrente do conhecimento geral, Bachelard (1996, p.17) comenta: "É possível constatar que essas leis gerais bloqueiam atualmente as ideias. Respondem de modo global, ou melhor, respondem sem que haja pergunta [...]. A nosso ver, quanto mais breve for o processo de identificação, mais fraco será o pensamento experimental". Conhecer o fenômeno geral e, por isso, valer-se dele para explicar tudo é um entrave tão grave ao conhecimento que Bachelard chega a classificá-lo como decadente e perigoso, principalmente porque pode proporcionar prazer intelectual, já que a generalização do fenômeno quando apressada se torna sedutoramente fácil.

Por obstáculo substancialista, entende-se o processo em que o indivíduo "Atribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade

manifesta como a qualidade oculta" (Bachelard, 1996, p.121). Esse obstáculo é constituído por intuições muito dispersas e até mesmo opostas. É comum a aproximação de duas etimologias de origens diferentes provocarem um movimento psíquico que pode dar a impressão de que se adquiriu um conhecimento. A ideia substancialista quase sempre é ilustrada por uma simples continência. É preciso que algo contenha e que a qualidade profunda esteja contida. A qualidade do fenômeno é internamente mantida pelo seu invólucro, e essa valorização intuitiva do interior leva a afirmações curiosas, como a de Nicolas de Locques,[3] que, para enfrentar o forte calor, propôs uma "friagem volátil que se lança na superfície para impedir a dissipação do calor e servir-lhe de vaso".

Nessa perspectiva é que se entende o obstáculo animista, que basicamente consiste na atribuição de vida a corpos inanimados. Assim, "com a ideia de substância e com a ideia de vida, ambas entendidas de modo ingênuo, introduzem-se nas ciências físicas inúmeras valorizações que prejudicam os verdadeiros valores do pensamento científico" (Bachelard, 1996, p.27).

O obstáculo do conhecimento utilitário e pragmático refere-se à condição em que "a própria utilidade fornece uma espécie de indução muito especial que poderia ser chamada de indução utilitária. Ela leva a generalizações exageradas" (Bachelard, 1996, p.113). Quando todas as dificuldades se resolvem diante de uma visão geral de mundo, por simples referência a um princípio da natureza, é porque o conhecimento utilitário se estabeleceu como dificultador do conhecimento. As diversas atividades naturais tornam-se, assim, manifestações variadas de uma só natureza, e essa necessidade de unidade traz pensamentos não científicos perigosos, como estabelecer correspondências com astros e metais e entre metais e as partes do corpo, criando uma espécie de triângulo universal que une o Céu, a Terra e o Homem. Tal triângulo se torna tão convincente que há quem nele confie para tratamentos das doenças, já que para cada desarmonia de um órgão existe um metal correspondente.

3. Médico espagírico de Sua Majestade em 1665, algo como alquimista e bruxo, citado por Bachelard.

O obstáculo do conhecimento quantitativo relaciona-se "à atração por um matematismo demasiado vago, a atração por um matematismo demasiado preciso" (Bachelard, 1996, p.260). Pondera que o conhecimento qualitativo é naturalmente carregado de falsidades, pois traz a marca da impressão subjetiva, do imediatismo e das certezas prematuras, mas seria um erro de proporção semelhante achar que o conhecimento quantitativo escapa desse perigo. Determinações geométricas das mais esquisitas, resultados quantitativos fantasiosos, variáveis indesejáveis, são alguns exemplos do perigoso mundo da quantificação.

O obstáculo verbalista relacionado à "falsa explicação obtida com a ajuda de uma palavra explicativa, nessa estranha inversão que pretende desenvolver o pensamento ao analisar um conceito, em vez de inserir um conceito particular numa síntese racional" (Bachelard, 1996, p.27). "[...] uma única imagem, ou até uma única palavra, constitui toda a explicação" (idem, 1996, p.91). Bachelard afirma que algumas palavras podem permitir expressar os mais variados fenômenos e isso se deve principalmente pelo acúmulo de imagens que prejudica a razão se apresentada sem a devida prudência, o que pode impedir a visão abstrata e nítida dos problemas reais. Para Bachelard, não só palavras provocariam essa dificuldade na aprendizagem como também imagens produziriam o mesmo efeito.

Em nossa pesquisa, com a intenção de separar esses diferentes vetores do obstáculo, propomos as expressões *palavra-obstáculo* e *imagem-obstáculo*, como forma de identificá-los – o que, a nosso ver, permite compreendê-los distintamente.

Quando a explicação por meio da palavra-obstáculo é usada por alguém, todo o seu pensamento se nutre das sensações provocadas por ela, não conseguindo se despregar de sua intuição primeira. Mesmo quando queremos apagar as suas impressões, sua força explicativa persiste principalmente pelo movimento linguístico que, ao associar a uma palavra concreta uma palavra abstrata, mostra-se, de maneira falsa, como um avanço na compreensão do fenômeno que se quer explicar. Para se ter coerência na interpretação de

um fato, é necessário nos afastar das impressões primitivas que esse fato certamente provocaria.

Bachelard (1996) exemplifica essa questão com a palavra-obstáculo *esponja* que por si só é usada em inúmeras e distintas situações em que a explicação parece satisfatória, mas que na realidade é uma avalanche de generalizações mal empregadas. O ar para Réaumur[4] é definido como algo esponjoso, já que tem a capacidade de ser comprimido, mostra-se rarefeito e aparece com grande volume. Para Franklin,[5] a matéria comum seria uma espécie de esponja para o fluido elétrico. Em 1785, o holandês Van Swinden[6] ilustra, em um de seus artigos, que o ferro é um condutor do fluido magnético, ou que é a esponja desse fluido. O perigo no uso dessas metáforas para a formação do conhecimento é que nem sempre são imagens passageiras, levando a um pensamento autônomo, e tendem a completar-se por meio da imagem.

Assim, Bachelard é um importante marco para referenciar discussões sobre o ensino-aprendizagem de Química (Piai, 2007; Lôbo, 2008) e balizou nosso trabalho de pesquisa sobre a identificação e caracterização de obstáculos para a aprendizagem, por alunos do ensino médio, dos conceitos envolvidos na compreensão da imiscibilidade do sistema água e óleo.

A densidade como obstáculo epistemológico verbalista

A seguir serão descritas algumas possíveis situações em que a palavra *densidade* aparece como explicação para diferentes fenômenos. Algumas dessas situações já foram já devidamente pesqui-

4. René-Antoine Ferchault de *Réaumur:* inventou em 1731 a escala de temperatura que leva seu nome.
5. Benjamin Franklin, um dos líderes da Revolução Americana, é muito conhecido por suas experiências com a eletricidade.
6. Jean Henri van Swinden em 1776 foi ganhador de prêmio internacional pelo seu trabalho nas relações entre magnetismo e eletricidade.

sadas, por Faria (2009) e por outros autores, ao passo que outras são apenas hipóteses, levantadas a partir da nossa experiência de observação em sala de aula.

Um equívoco que alunos, nos diferentes níveis da educação formal, manifestam recorrentemente é a explicação de que água e óleo são imiscíveis devido a diferenças em suas densidades. Nossa experiência de mais de quinze anos com o ensino de Química mostrou-nos que essa interpretação não era esclarecida simplesmente apontando o erro, pois após algum tempo e até mesmo durante a explicação aceita cientificamente sobre o fenômeno, a ideia inicial persistia.

Em pesquisa realizada com 172 alunos do 1º ano do ensino médio de escolas particular e pública, verificamos que apenas dois desses, ou seja, 1,2% deles, responderam de maneira aceita cientificamente sobre quais os motivos da imiscibilidade do sistema água e óleo; mais de 70% dos alunos pesquisados consideraram a diferença de densidade como o principal motivo, conforme se observa nos dados da Figura 1.

Em um estudo sobre a evolução conceitual de estudantes na construção de modelos explicativos relativos ao conceito de solução e ao processo de dissolução (Carmo et al., 2005), foi constatado que é costume geral dos alunos associarem a dissolução de substâncias em água à densidade dos materiais. A densidade das substâncias parece ser evocada em diversas situações para explicação de fenômenos.

A construção do conceito de densidade é de difícil compreensão, motivando diversas pesquisas na área educacional. Bazílio et al. (2005, p.2) desenvolveram pesquisa com alunos do primeiro ano do curso de Farmácia e de mestrado em Química da Universidade Federal de Goiás, constatando que, embora submetidos à seleção para um curso concorrido em um vestibular conceituado, apresentavam muitas dificuldades com o conceito de densidade.

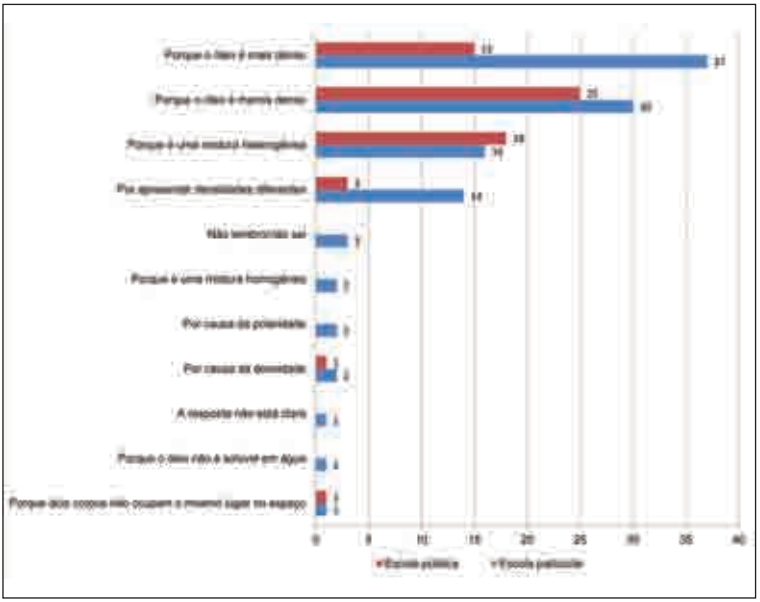

Figura 1 – Respostas dos alunos à pergunta "Por que água e óleo não se misturam?"

A explicação científica mais usada para o fato de o sistema água e óleo não ser miscível é a que se refere à maior afinidade das moléculas da água entre si devido à polarização das moléculas – gerando polo negativo no oxigênio e positivo nos hidrogênios –, ao passo que nas moléculas de óleo apresentam caráter apolar. Isso faz com que as moléculas de água se atraiam e preferencialmente se agrupem, não interagindo com as moléculas de óleo. Uma explicação mais completa desse fenômeno faz uso de conceitos da termodinâmica e Física Estatística: óleo e água são imiscíveis porque nesse sistema a entropia é máxima se comparada com a do sistema óleo e água miscibilizados. Ou seja, a desordem desse sistema prevalece por ser maior do que a desordem do sistema água e óleo miscibilizados. Todo fenômeno natural espontâneo tende a atingir um estado estatisticamente mais provável – o estado de entropia máxima –, de acordo com a segunda lei da termodinâmica.

No ensino médio, os conceitos da termodinâmica não são abordados com profundidade suficiente para que sejam utilizados. Assim, as polaridades são indicadas para explicação do fenômeno, pois no ensino fundamental os conceitos de carga elétrica em átomos e moléculas são amplamente explorados.

A densidade costuma ser confundida com massa, e podemos ilustrar isso pelo relato de uma situação didática vivida pelo pesquisador em que no laboratório de Química, ao analisar uma substância cuja massa é bastante perceptível, alguns alunos costumam classificar tal substância como sendo densa. Isso nos leva a pensar que, de alguma maneira, ao termo *densidade* é atribuída a característica de quantidade de matéria pura e simples. Como no caso em que o registro na balança de 2,35 g de iodeto de potássio é lido e comparado com 1,04 g de cloreto de sódio, e a um grupo de alunos é perguntado o motivo pelo qual a massa do KI é maior; dentre as respostas, sistematicamente aparece como fator dessa diferença na massa o fato de KI ser mais denso. Isso parece estar sendo reforçado por outras áreas do conhecimento, pois é comum nos depararmos com situações em que essa confusão se verifica, tais como:

> [...] essa medida referente ao petróleo define que o óleo é mais denso ou pesado quando o American Petroleum Institute – API (padrão de convenção norte-americano que estabelece...). (Vasquez apud Rossi et al., 2008, p.2)

> [...] a densidade do átomo de oxigênio, que compõe juntamente com mais dois átomos de hidrogênio a molécula do vapor d'água. Esta densidade é maior do que a densidade do átomo de hidrogênio. Portanto, vemos que o átomo de oxigênio é mais pesado, por isso sua tendência é se direcionar para a parte inferior da nuvem. (Silva & Souza, 2009, p.1)

Ao se comparar o tempo em que uma porção de água e outra de óleo levam para escorrer por uma superfície plana e lisa de metal

(Al), é atribuído à densidade o fato de o óleo escorrer a uma velocidade menor. A quantidade de movimento por difusão molecular, ou seja, a viscosidade, é, assim, confundida com a densidade (Bertulani, 2009) – o que nos leva a concluir que, de alguma maneira, para alguns, ser denso significa ser viscoso. Novamente nos deparamos com uma situação em que a confusão é observada e poderia facilmente ser resolvida comparando experimentalmente a viscosidade do óleo e da água com suas respectivas densidades.

> Como o próprio nome já diz, o petróleo pesado é mais denso e viscoso que sua outra versão leve, mais fácil de ser extraída e que é explorada no Brasil. (Castro & Carrozo apud Rossi et al., 2008, p.2)

Conforme Carmo, Martorano & Marcondes (1999), ao se solicitar uma explicação para o fato de determinados materiais serem solúveis ou não em outros, os estudantes apontam a densidade como principal argumento. Nessa mesma pesquisa, são apontados outros estudos que demonstram que é comum associar a densidade com a dissolução dos materiais (Sanchez et al., 1997; Ebenezer & Erickson, 1996).

Na demonstração comparando a reação entre o Zn em pó com HCl de concentração 6 mol.L^{-1} e a reação entre o Zn em lascas (parte de uma calha de chuva) com HCl, também de concentração 6 mol.L^{-1}, estudantes atribuem à densidade o motivo da diferença de velocidade das reações. Uma substância com pouca ou nenhuma fragmentação é considerada uma substância densa, enquanto a mesma substância muito fragmentada apresentaria densidade menor, e, se a densidade é menor, a reação seria mais rápida. Isso nos leva a pensar que a densidade como propriedade de uma substância não é compreendida por alguns alunos.

Algo semelhante foi verificado quando, em outra experiência, foram aquecidos diferentes recipientes contendo massas iguais de água; utilizando para queima diferentes combustíveis nota-se relativa diferença no tempo necessário para que todos se aqueçam a uma determinada temperatura. Entre as explicações dos estudantes,

a densidade, mais uma vez, é utilizada como motivo explicativo do fenômeno.

Como podemos perceber, a palavra *densidade* é usada para explicar diversas situações não relacionadas à sua definição e, para Bachelard (1996), isso é definido como um obstáculo verbal, em que uma imagem ou palavra constitui toda a explicação. A palavra *densidade* se mostra carregada de adjetivos que permitem expressar os fenômenos mais variados. Ao dizer, por exemplo, que a viscosidade da substância se deve na verdade ao fato de ser densa, o fenômeno já parece explicado, a palavra se mostra clara, de forma tal, que o aluno não sente a necessidade de explicação. Podemos considerar então que densidade é uma palavra-obstáculo que impede a compreensão dos conceitos relativos a alguns fenômenos, entre eles, os conceitos dos envolvidos nas interações existentes no sistema água e óleo.

Buscando indícios para o surgimento desse obstáculo verbal, investigamos os livros selecionados pelo Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM, 2007), em busca de características da abordagem do conceito de densidade relacionadas ao conteúdo tratado na sequência, de exemplos desses conteúdos que podem fomentar relações com a densidade dos materiais relativos à flutuação de materiais e, por fim, se discutem de alguma maneira o sistema água e óleo (Quadro 1).

Os autores enfatizam diferentemente a discussão da densidade, se considerarmos o número de páginas, pois observamos no livro 1, menos de duas; livro 2, três; livro 3, três; livro 4, nove; livro 5, dez; livro 6, quatro. O conteúdo tratado em seguida à densidade, na maioria dos livros, é misturas. Como os alunos, discutiram o assunto densidade, isso pode proporcionar uma ligação entre os dois conteúdos, gerando interpretações equivocadas. Encontramos em todos os livros, de alguma forma, que a flutuação de materiais em um meio líquido se deve às suas densidades. Em todas as obras encontramos menção, com o uso de imagem, do sistema água e óleo como exemplo de misturas e/ou como exemplo no processo de separação de misturas e, em metade deles, esse sistema é também mostrado como exemplo de materiais de diferentes densidades. O fato de esse sistema ser

Quadro 1 – Características da abordagem do conceito de densidade nos livros de Química aprovados pelo PNLEM, 2007

Livro*	Característica		
	Conteúdo em sequência	Flutuação	Sistema água e óleo
1	Pureza das substâncias. Separação de misturas.	Não aborda o assunto, mas mostra a foto de um navio e um *iceberg*.	Como exemplo de fases de um sistema (foto, p.12). Exercícios de densidade (desenhos, p.15, 27-8).
2	Temperatura de fusão e ebulição. Solubilidade.	Aborda o assunto e exemplifica com diferentes líquidos.	Ao investigar densidade (texto, p.32). Como exemplo de mistura (foto, p.50). Como exemplo de material heterogêneo (foto, p.51). Como exemplo de separação por decantação (foto, p.57).
3	Água (incluindo misturas). Energia.	Aborda a flutuação do gelo em água líquida.	Para exemplificar um sistema heterogêneo (desenho, p.15). Exercício de densidade (desenho, p.41).
4	Temperaturas de fusão e ebulição. Solubilidade.	Aborda a flutuação de objetos na água.	Questão para investigação dentro do assunto solubilidade (texto, p.33). Exemplo de sistema heterogêneo (foto, p.59).
5	Solubilidade. Misturas.	Nota de margem: "gelo é menos denso que a água e por isso flutua" (p.65).	Exemplo de partículas que não interagem (texto, p.70). Exemplo do processo de separação por decantação (foto, p.98).
6	Misturas. Separação de misturas.	Aborda o assunto e exemplifica com diferentes líquidos.	Exemplo para definir fases (foto, p.23). Exemplo de mistura heterogênea (desenho, p.25). Exemplo de separação de misturas (desenho, p.29).

(*) (1) *Química* (Feltre, 2005); (2) *Química e sociedade* (Mól & Santos, 2005); (3) *Universo da Química* (Bianchi, 2005); (4) *Química para o ensino médio* (Mortimer & Machado, 2002); (5) *Química* (Nóbrega, Silva & Silva, 2005); (6) *Química na abordagem do cotidiano* (Peruzzo & Canto, 2003).

usado na discussão sobre densidade e misturas, pode mais uma vez propiciar uma ligação entre ambos, reforçado na maioria das vezes pela força que a imagem pode produzir levando-nos a supor que a representação desse sistema na exemplificação de misturas, juntamente com a discussão sobre densidade, produz uma imagem-obstáculo para o aluno.

Como todos os livros abordam o sistema água e óleo, analisamos os conceitos científicos envolvidos no fenômeno da imiscibilidade do sistema. A densidade está relacionada com o fato de o óleo ser a fase superior do sistema água e óleo, mas não justifica a imiscibilidade entre ambos. A imiscibilidade desse sistema está relacionada com a intensidade das interações entre as moléculas desses materiais e são decorrentes de suas características de polarização. Analisando os livros didáticos selecionados pelo Plano Nacional de Livros Didáticos (PNLD), foi possível perceber como é apresentado o fenômeno da imiscibilidade do sistema água e óleo e os conceitos envolvidos na explicação científica, conforme apresentados no Quadro 2.

Os livros não enfatizam a discussão sobre interações, mas alguns utilizam termos relacionados a esse conceito, como solubilidade e dissolução, o que, a nosso ver, se apresenta como incoerência. Não se pode tratar de solubilidade sem defini-la, sendo necessário compreender as interações entre partículas. O conceito de miscibilidade não é definido em nenhum dos livros e apenas um apresenta o uso do termo, porém sem explicações; em um deles encontramos uma citação em que a solubilidade é usada no lugar da miscibilidade. O conceito de polaridade não é abordado em nenhuma das obras quando da abordagem de misturas, sendo esse conceito fundamental para a interpretação do sistema água e óleo. Conforme já indicado por Rossi et al. (2008), o aluno se vê diante de imagens do sistema água e óleo, inseridas na discussão sobre densidade, mas não lhe é proporcionada uma reflexão sobre as razões científicas para a imiscibilidade desse sistema. Embora o foco principal não seja esse, julgamos que ele deva estar presente para não provocar obstáculos epistemológicos.

Quadro 2 – Conceitos envolvidos no fenômeno da imiscibilidade nos livros de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio – PNLEM, 2007

Livro*	Característica		
	Interações	Miscibilidade	Polaridade
1	Não aborda.	Não explica o conceito, mas utiliza o termo: "Nos laboratórios empregam-se os funis de separação para separar líquidos imiscíveis de densidades diferentes" (p.34).	Não aborda.
2	Aborda solubilidade, mas não explica o conceito.	Não aborda.	Não aborda.
3	Não aborda o assunto, mas faz uso do termo dissolução: "Uma substância (sólida ou líquida) menos densa flutua em um líquido mais denso desde que não haja dissolução" (p.33).	Não aborda.	Não aborda.
4	Usa o termo dissolução, mas não explica o conceito: "Nossa vivência com dissolução de materiais em geral envolve sólidos" (p.32).	Não aborda o conceito, mas pede para o aluno procurar a explicação do fato de "a mancha de óleo se espalhar rapidamente pela superfície do mar" (p.33).	Não aborda.
5	Não explica o conceito, mas faz uso do termo: "... as partículas da água não interagem, ou interagem muito fracamente, com as partículas desse material, não conseguindo separá-las" (p.70).	Ao tratar de mistura líquido-líquido, usa o termo solúvel: "óleo e gasolina são solúveis em querosene" (p.70).	Não aborda.
6	Não aborda.	Não aborda.	Não aborda.

(*) (1) *Química* (Feltre, 2005); (2) *Química e sociedade* (Mól & Santos, 2005); (3) *Universo da Química* (Bianchi, 2005); (4) *Química para o ensino médio* (Mortimer & Machado, 2002); (5) *Química* (Nóbrega, Silva & Silva, 2005); (6) *Química na abordagem do cotidiano* (Peruzzo & Canto, 2003).

Considerações finais

A constatação de resposta recorrente oferecida por alunos do ensino médio, indicando a densidade como explicação para o fenômeno da imiscibilidade do sistema água e óleo foi propulsora de uma investigação que ofereceu indícios da formação de um obstáculo epistemológico.

Essa investigação percorreu os livros didáticos mais utilizados nas escolas públicas e verificou que imagens e textos apresentam características que podem influenciar na formação de um obstáculo verbal, a palavra *densidade*.

A identificação do obstáculo e de possíveis situações de ensino que o estimulam, são indícios que podem nortear ações em sala de aula para superar as dificuldades dos alunos de compreensão de conceitos científicos relacionados ao tema.

A reflexão dos professores sobre os aspectos evidenciados na pesquisa podem subsidiar ações em sala de aula que promovam a superação dos possíveis obstáculos formados.

Referências bibliográficas

BACHELARD, G. *A filosofia do não/O novo espírito científico/A poética do espaço.* São Paulo: Abril, 1978. (Coleção Os Pensadores).

_____. *Epistemologia* – Trechos escolhidos por Dominique Lecourt. Trad. Nathanael C. Caixeiro. 2.ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1983.

_____. *A formação do espírito científico.* Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAZÍLIO, H. O., NAVES, A. T., MENDONÇA, D. M., SOARES, M. H. F. Como os alunos entendem o conceito de densidade. Parte II. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29. Águas de Lindoia, 2005. *Anais...* Águas de Lindoia: SBQ, 2005. p.2.

BERTULANI, C. A. *Viscosidade, turbulência e tensão superficial*: projeto de ensino de Física à distância. Disponível em <http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/hidrodinamica/viscosidade.html>. Acesso em 29/9/2009.

BIANCHI, J. C. de A., ABRECHT, C. H., MAIA, D. J. *Universo da Química*: ensino médio. Volume único. 1.ed. São Paulo: FTD, 2005.

CARMO, M. P. do, MARTORANO, S. A. A., MARCONDES, M. E. R. Um estudo sobre a evolução conceitual dos estudantes na construção de modelos explicativos relativos ao conceito de solução e ao processo de dissolução. *Enseñanza de las Ciencias*, v.extra, p.1-8, 2005.

EBENEZER, J. V., ERICKSON, G. L. Chemistry student's conceptions of solubility: a phenomenography. *Science Education*, v.80, n.2, 1996.

FARIA, A. G. V. *Densidade x forças intermoleculares*: uma proposta de superação de um obstáculo epistemológico. Campo Grande, 2010. 69f. Dissertação (mestrado de Ensino de Ciências) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, UFMS.

FELTRE, R. *Química*. 6.ed. São Paulo: Moderna, 2005.

_____, YOSHINAGA, S. *Química geral*: teoria e exercícios. São Paulo: Moderna, 1974.

LÔBO, S. F. O ensino de Química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. *Revista Ciência e Educação*, v.14, p.89-100, 2008.

LOPES, A. C. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química: obstáculos animistas e realistas. *Química Nova (São Paulo)*, v.15, n.3, p.254-61, 1992.

_____. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de Ciências. *Enseñanza de las Ciencias*, v.11, n.3, p. 324-30, 1993a.

_____. Livros didáticos: obstáculos verbais e substancialistas no aprendizado da ciência química. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos (Brasília)*, v.177, n.74, p.309-34, 1993b.

_____. Bachelard: o filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.13, n.3, p.248-73, 1996.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4(3), p.267-85, 1995.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de Ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*. v.1, n.1, p.20-39, 1996.

_____. *Linguagem e formação de conceitos no ensino de Ciências*. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2000.

_____, MACHADO, A. H. *Química para o ensino médio*. Volume único. São Paulo: Scipione, 2002.

MÓL, G. S., SANTOS, W. L. P. dos. *Química e sociedade*. Volume único. São Paulo: Nova Geração, 2005.

NÓBREGA, O. S., SILVA, E. R., SILVA, R. H. *Química*. Volume único. São Paulo: Ática, 2005.

OLIVEIRA, R. J. O mito da substância. *Química Nova na Escola (São Paulo)*, v.1, n.1, p.8-11, 1995.

PARENTE, L. T. S. *Bachelard e a Química*: no ensino e na pesquisa. Fortaleza: EUFC/Stylus, 1990.

PERUZZO, F. M., CANTO, E. L. *Química na abordagem do cotidiano*. 3.ed. São Paulo: Moderna, 2003.

PIAI, D. *Hipóteses sobre a combustão entre os alunos do ensino médio*: a epistemologia de Gaston Bachelard. Maringá, 2007. 136p. Dissertação (mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) – Universidade Estadual de Maringá.

ROSSI, A. V., MASSAROTTO, A. M., GARCIA, F. B. T., ANSELMO, G. T., DE MARCO, I. L. G., CURRALERO, I. C., TERRA, J., CORREA S. Z. Reflexões sobre o que se ensina e o que se aprende sobre densidade a partir da escolarização. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 14. Curitiba, 2008. *Anais...* Curitiba: UFPR, 2008.

SANCHEZ BLANCO, G., DE PRO BUENO, A., VALCÁRCEL PÉREZ, M. A. V. La utilización de un modelo de planificación de unidades didácticas: el estudio de las disoluciones en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias,* v.15, n.1, 1997.

SILVA, C. E. da, SOUZA, F. S. de. *A aplicação da Lei de Coulomb no modelo de formação das nuvens*. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0532-1.pdf>. Acesso em 18/9/2009.

6

Prevenção de acidentes na execução de experimentos de Química no ensino médio – avaliação de riscos pelo método de Árvores de Causas

Dario Xavier Pires[1]
Alexandre Faria[2]
Maria Celina Piazza Recena[3]

Introdução

O ensino de Química está tradicionalmente vinculado ao desenvolvimento de experimentos. Os motivos que levam a essa tendência estão relacionados à concepção de que a Química é uma ciência experimental. E, de fato, a atividade do profissional da Química está intensamente vinculada à experimentação, embora

1. Professor associado doutor, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Departamento de Química. Professor do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. *e-mail*: daxpires@yahoo.com.br.
2. Professor BTT mestre do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. *e-mail*: alexandre.faria@ifms.edu.br.
3. Professora associada doutora, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Departamento de Química. Professora do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. *e-mail*: celina.recena@ufms.br.

possamos questionar a necessidade e a finalidade da experimentação para o ensino de Química.

Hodson (1988, p.1) sugere que o *status* elevado do trabalho prático no ensino de Ciências pode ser atribuído à constatação de que "os experimentos sejam tão largamente utilizados na ciência que os professores de ciências fiquem condicionados a considerá-los como parte necessária e integral do *ensino* de ciências", e considera que os professores aceitam de maneira geral que "o papel dos experimentos na ciência e no ensino de ciências é idêntico" e que "o papel dos experimentos não é problemático". Entretanto, é preciso refletir sobre a função dos experimentos no currículo. Sobre esse aspecto, o autor propõe as seguintes reflexões:

> Há duas questões principais acerca do papel dos experimentos no currículo. Primeiro, o que os alunos precisam saber sobre a natureza e o objetivo dos experimentos como uma contribuição a seu aprendizado sobre ciências e como uma preparação para fazer ciência? Em outras palavras, qual é o papel dos experimentos como um conteúdo do currículo? Segundo, qual é o papel dos experimentos como um método de ensino? Esta questão enfoca as maneiras através das quais os professores poderiam usar os experimentos para promover a aprendizagem de conceitos, para promover um entendimento mais profundo da natureza do próprio experimento (aprender sobre os experimentos fazendo experimentos!) e para dar às crianças uma prática no uso deles como parte de suas próprias investigações científicas. (Hodson, 1988, p.2)

Essa tendência é marcante no ensino de Química e pode ser confirmada ao constatarmos os critérios de avaliação dos livros didáticos, do componente curricular Química, do Programa Nacional do Livro Didático – PNLD, 2012, que verifica se a obra:

> – propõe experimentos adequados à realidade escolar, previamente testados e com periculosidade controlada, ressaltando a necessi-

> dade de alerta acerca dos cuidados específicos para cada procedimento;
> – traz uma visão de experimentação que se afina com uma perspectiva investigativa, que leve os jovens a pensar a ciência como campo de construção de conhecimento permeado por teoria e observação, pensamento e linguagem. Nesse sentido, é plenamente necessário que a obra – em seu conteúdo – favoreça a apresentação de situações-problema que fomentem a compreensão dos fenômenos, bem como a construção de argumentações. (Brasil, 2011, p.10)

E, ainda, se o Manual do Professor:

> – traz, em relação à experimentação, alertas bem claros sobre a periculosidade dos procedimentos propostos e oferece alternativas para a escolha dos materiais para tais experimentos;
> – propõe atividades experimentais complementares. (Idem, p.10)

As orientações para os livros didáticos, a serem distribuídos nas escolas, traduzem a tendência pedagógica oficial na qual se constata a valorização da experimentação no ensino da Química, como uma abordagem investigativa problematizadora, aliada aos cuidados de ordem prática relacionados à segurança e aos riscos no desenvolvimento dos trabalhos.

Sobre a questão da segurança em laboratórios de Química, há uma tradição na profissão de enfatizar tais cuidados, inclusive com as regras consagradas e manuais de procedimentos amplamente divulgados. Nos cursos de graduação, já no início das disciplinas de prática em laboratório é dada ênfase a essa discussão, e os alunos são orientados sobre a conduta e procedimentos, incluindo o descarte adequado de resíduos e rejeitos.

Entretanto, pesquisas recentes sobre as atividades práticas de Química em escolas de ensino médio no Brasil mostraram que a infraestrutura de apoio para o desenvolvimento de aulas práticas nas escolas é precária.

Silva & Machado (2008) pesquisaram as condições nas quais são realizadas as atividades experimentais de Química em 26 escolas do Distrito Federal e, considerando várias publicações e ações governamentais dos últimos 25 anos que abordam as questões relativas ao ensino de Química no Brasil – entre elas a experimentação –, concluíram que, mesmo com essas ações, "a análise das atividades desenvolvidas e dos diversos tipos de materiais didáticos produzidos mostra que, praticamente, não houve esforços voltados para as questões de segurança nos laboratórios de ensino", e ressaltam que "pouco ou nada se aborda sobre boas práticas em laboratório, armazenagem de reagentes químicos e descarte dos produtos inservíveis provenientes das experiências de Química, desenvolvidas dentro das propostas e projetos que foram produzidos" (Silva & Machado, 2008, p.238)

Recentemente, a preocupação com o meio ambiente também motivou importantes estudos sobre as condições de segurança das atividades experimentais no ensino médio, focados principalmente na condição de estocagem de produtos químicos e na questão dos descartes de resíduos provenientes das aulas práticas (Machado & Mol, 2008; Gimenes et al., 2006).

Machado (2005) avançou na questão da segurança no ensino médio ao frisar a importância do planejamento dos experimentos e do debate com os alunos sobre os riscos envolvidos no procedimento como uma abordagem educativa. Essa perspectiva é corroborada por Silva & Machado (2008), que consideraram que:

> [...] a adoção de uma postura segura nas atividades experimentais de ensino faz-se necessária, sobretudo, para o bem-estar coletivo. O corpo diretivo, juntamente com os professores, não deve restringir-se a informar normas de segurança; o processo deve ter caráter formativo, para que seja incorporado à conduta diária e perpasse o ambiente escolar. (Silva & Machado, 2008, p.246)

A abordagem educativa sobre segurança nos trabalhos práticos, nas aulas de Química no ensino médio, deve ser considerada no âmbito de uma abordagem ampla que inclui a prevenção de acidentes em âmbito profissional e cotidiano dos adolescentes. Essa perspectiva apoia-se na constatação do elevado índice de acidentes do trabalho com indivíduos da faixa etária esperada para alunos do ensino médio.

Nagai et al. (2007) avaliaram os conhecimentos e as práticas de adolescentes na prevenção de acidentes de trabalho, em uma escola pública da cidade de São Paulo, e identificaram que, além de mostrar conhecimentos limitados sobre os acidentes de trabalho e suas formas de prevenção, também identificavam o acidentado como o principal culpado pelo acidente, e que a melhor forma de proteção era uma maior atenção ao trabalho. Esta última conclusão mostra, segundo seus autores, que a cultura de culpar a vítima está presente desde a adolescência e provavelmente é resultado de um processo de aprendizado na sociedade (Nagai et al., 2007).

Segundo Binder (1994), no Brasil, as causas dos acidentes ainda se referem à concepção do ato inseguro e das condições inseguras do trabalho, *culpabilizando* o trabalhador pelo evento que o vitimou, e indicando, por conta disso, mudanças de postura de comportamento, sabidamente as medidas de prevenção mais frágeis.

Assim, as abordagens curriculares no ensino médio podem subsidiar a formação dos indivíduos para uma postura de prevenção a acidentes, contribuindo para sua formação como cidadãos responsáveis e reivindicadores de condições apropriadas para o desempenho de atividades nas diversas esferas sociais, coerentemente com os Parâmetros Curriculares Nacionais, que consideram: "a Química pode ser um instrumento da formação humana que amplia os horizontes culturais e a autonomia no exercício da cidadania, se o conhecimento químico for promovido como um dos meios de interpretar o mundo e intervir na realidade" (Brasil, 2002, p.115) e ainda, no mesmo documento, que "[...] as escolhas sobre o que ensinar devem se pautar pela seleção de conteúdos e

temas relevantes que favoreçam a compreensão do mundo natural, social, político e econômico", para que os alunos possam "tomar decisões autonomamente, enquanto indivíduos e cidadãos" (Brasil, 2002, p.174).

Juntamente com as considerações dos PCN, a Lei das Diretrizes e Bases para a educação nacional (Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996) enfatiza em seu art. 35, § 4º, que o ensino médio terá, entre outras, a finalidade da "preparação geral para o trabalho".

Os acidentes do trabalho se destacam dentre as questões relacionadas aos mundos social, político e econômico brasileiro; os dados do Anuário Estatístico (2007) mostram, em relação ao ano anterior, um aumento de 27,6% na ocorrência de acidentes entre pessoas na faixa etária de 16 aos 37 anos; fato considerado preocupante pelo secretário de Políticas de Previdência Social, Helmut Schwarzer, pois,

> [...] os números revelam que os jovens expõem-se às atividades de maior risco, ao serem inseridos no mercado de trabalho, sendo necessário, portanto, que além dos cursos de capacitação profissional, também o ensino regular (fundamental, médio e superior), mantenha currículos mínimos em matéria de Saúde e Segurança do Trabalho. (Ministério do Trabalho e Emprego, 2008, p.3)

No entanto, Machado & Mol (2008, p.60) ponderam que "há que se considerar também a responsabilidade das instituições formadoras de professores. É necessário que durante cursos de formação inicial ou continuada sejam abordadas questões de segurança em laboratório".

Na literatura acadêmica não são relatados trabalhos abordando a análise de acidentes ocorridos durante o desenvolvimento de experimentos de Química em escolas. Isso não significa que episódios dessa natureza não ocorram, pois há relatos informais sobre situações desse tipo, noticiados pela imprensa, por exemplo, a ingestão de soda cáustica por alunos da oitava série do ensino funda-

mental (Agência Folha, 2005) e queimaduras provocadas pela utilização inadequada de álcool etílico em criança do jardim de infância (Superior Tribunal de Justiça, 2001).

No primeiro caso, os estudantes faziam um exercício chamado "teste do sabor", em que degustavam amostras de limão, vinagre e leite de magnésia. Em outra etapa da experiência, os alunos diluíram soda cáustica em água e deveriam apenas "cheirar" uma gota colocada no dorso da mão. Alguns, entretanto, pediram para experimentar a substância e, autorizados pela professora, todos levaram a soda cáustica à boca. Após o contato, alguns alunos começaram a reclamar de queimação na garganta e no estômago.

A outra experiência foi realizada com doze crianças do jardim de infância que, segundo a professora E. W., estavam dispostas em forma de meia-lua, a aproximadamente 1,5 m de distância da mesa. T. estava deitada no chão. E. W. dispôs três tigelas de vidro sobre a mesa, contendo cada tigela, separadamente, uma bolinha de algodão seco, algodão embebido em água e algodão embebido em álcool etílico que seriam utilizadas para comparar a combustão desses materiais. Quando o último algodão foi aceso, "correu uma língua de fogo" que atingiu T. que se encontrava deitada no chão, provocando sérias queimaduras. Em seu depoimento, a professora afirmou que não houve explosão, pois teve a precaução de guardar o frasco do álcool, no armário, antes de iniciar o experimento. Alegou em sua defesa que o assoalho era encerado todos os fins de semana e que na segunda-feira, o dia do acidente, poderiam ainda existir resíduos inflamáveis da cera no assoalho.

Esse e outros acidentes deveriam ser averiguados e as conclusões dessa investigação, publicadas, baseadas na vivência acadêmica de uma cultura de segurança como a defendida por Almeida & Filho (2007) e Reason (2000):

> a) uma cultura de informação, ou seja, a existência de atmosfera de confiança que permita a implementação de sistema de informações de eventos adversos e memória do sistema; b) uma cultura de jus-

> tiça, ou seja, ambiente de acordo e compreensão sobre atos passíveis e não passíveis de culpa; e, por fim, c) uma cultura de aprendizagem caracterizada pela existência de medidas reativas e pró-ativas usadas para criar melhorias contínuas do sistema. (Almeida & Filho, 2007, p.10)

Uma investigação visando à prevenção de acidentes em aulas com experimentos, em escolas do ensino básico, pode ser estabelecida pela metodologia de análise de estudo de caso.

Sá et al. (2007), ao proporem a metodologia do estudo de caso para o ensino de graduação em Química, verificou que os 25 trabalhos publicados no período de janeiro de 1980 a abril de 2006, nos periódicos *Journal of Chemical Education*, *The Chemical Educator* e *Chemistry Education Research and Practice*, tinham como objetivos, entre outros, estimular a capacidade de tomada de decisão, principalmente na área de Química Ambiental, desenvolver o pensamento crítico e a habilidade em resolver problemas. Segundo esses autores, em nenhum desses trabalhos foi abordada a questão da segurança em experimentos de Química. Assim, a implementação dessa cultura, ao vencer a atmosfera de desconfiança, permitiria que o estudo das causas de acidentes e de fatores que os motivaram, viesse a se tornar um instrumento formativo muito valioso nas escolas e nos cursos de licenciatura. Assim, considerando esse contexto, pretendemos com este trabalho:

1. Contribuir para a conscientização dos professores de cursos de graduação em Química e do ensino médio, bem como a dos gestores educacionais, sobre os problemas de segurança decorrentes de práticas experimentais em escolas do ensino médio, principalmente quando a infraestrutura não é adequada para essa finalidade.
2. Estimular a discussão sobre segurança e riscos com alunos do ensino médio, a partir de experimentos de Química, com o objetivo de prepará-los para atuarem no mercado de trabalho.

3. Apresentar uma metodologia para avaliação dos riscos envolvidos em atividades experimentais, em escolas do ensino médio, subsidiando professores em suas aulas práticas e em suas discussões sobre segurança com os seus alunos.

Metodologia

Foi desenvolvida uma pesquisa com contornos de estudo de caso, que, segundo Lüdke e André (1986), pode ser de abordagem qualitativa, e que é empregada quando se quer estudar um único caso, singular, particular e delineado. As autoras destacam as principais características desse estudo, indicando que visam à descoberta, enfatizam a interpretação em contexto, buscam retratar a realidade de forma completa e profunda ao usar uma variedade de fontes de informação, revelam experiência vicária e permitem generalizações naturalísticas, além de representarem os diferentes e às vezes conflitantes pontos de vista presentes numa situação social, utilizando uma linguagem mais acessível do que os outros relatórios de pesquisa (Lüdke & André,1986, p.18-20).

Considerando esses pressupostos, a pesquisa foi de cunho exploratório e pretendeu descobrir as causas de um acidente ocorrido no desenvolvimento de um experimento em uma escola, interpretando-as no contexto das condições para realização de experimentos. Além disso, buscaram-se as relações com a realidade profissional dos professores admitindo as intenções, muitas vezes conflitantes, entre entusiasmo e profissionalismo e as condições oferecidas para o desenvolvimento de experimentos que são reveladoras de políticas públicas.

Com o relato detalhado e linguagem acessível pretende-se oferecer a oportunidade de reflexão para os leitores proporcionando generalizações naturalísticas. Espera-se que, conforme indicado por Lüdke e André (1986, p.19), a generalização naturalística ocorra "em função do conhecimento experiencial do sujeito, no momento em que este tenta associar dados encontrados no estudo

com dados que são frutos das suas experiências pessoais", e então reflita sobre "o que eu posso (ou não) aplicar deste caso na minha situação".

Assim, apresenta-se um evento acontecido em uma aula prática demonstrativa em escola de ensino médio, caracterizado como um acidente prevencionista, quando as consequências atingem objetos e geram prejuízos materiais, sem provocar, entretanto, danos à saúde dos sujeitos envolvidos.

Utilizamos nesse estudo o método da Árvore de Causas, que é aplicado, na atividade industrial, para estudar os fatores causais, dificilmente detectados, e que foi desenvolvido no início dos anos 1970, por pesquisadores do Institut National de Recherche et de Segurité – INRS (Binder, 1997).

A Árvore de Causas permite um caminho para melhor compreender e investigar os fatores que contribuem para a ocorrência de anomalias gerenciais e organizacionais, identificando as deficiências da área de segurança antes que venham a causar acidentes e desenvolvendo medidas para incrementar uma política de segurança.

Essa metodologia, a partir do estudo de caso, tem por objetivo identificar os fatores causais habituais e os eventuais, mais remotos, cujo encadeamento produziu a dinâmica do acidente. Uma vez identificados esses fatores, a árvore é construída pela relação lógica existente entre eles e retroativa a partir do acidente em si.

Na indústria, uma investigação *a priori*, para detectar os possíveis riscos envolvidos em uma atividade, por meio da inspeção e da análise das condições de trabalho, nem sempre é eficiente, pois essa metodologia aplica-se mais aos sistemas previsíveis e de menor complexidade.

Desse modo, quando fatores eventuais, não previsíveis, que passaram despercebidos naquela investigação *a priori*, desencadeiam um acidente, isso requer uma investigação a *posteriori*, para que suas causas sejam determinadas e definidas as medidas de prevenção, pois um acidente não pode ser explicado considerando-se

somente fatos permanentes. O encadeamento das suas variações configura a sua dinâmica.

De modo análogo às atividades industriais, consideramos condições inseguras, previsíveis e, portanto, facilmente detectadas, aquelas condições encontradas por Gimenes et al. (2006) ao analisar as escolas do município de Londrina; por exemplo, a ausência de capelas e a permanência de extintores vencidos nas dependências dos laboratórios. Outras situações, subjacentes ao experimento, dificilmente detectadas, são as que iremos avaliar pelo método da Árvore de Causas, no estudo de um caso a seguir.

Para isso, por meio de uma investigação retroativa do encadeamento das causas, o investigador ou, de preferência, a equipe investigadora, avalia todas as possibilidades, detendo-se quando, por razões cronológicas, essa investigação torna-se inviável ou porque já se acha suficientemente esclarecida.

Descrição do caso

Um professor, licenciado em Química, com mais de dez anos de experiência no ensino médio, desenvolve um experimento demonstrativo sobre termoquímica com vinte alunos da segunda série do ensino médio. O experimento tem por objetivo avaliar e comparar o poder calorífico liberado pela queima de aproximadamente 10 ml dos líquidos inflamáveis e combustíveis: álcool etílico, querosene, gasolina e óleo diesel utilizados para aquecer 250 ml de água. Esses líquidos, segundo as suas Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ – liberadas pela Petrobrás, podem causar: alteração no comportamento (álcool etílico); efeitos narcóticos (querosene e gasolina) e irritação das vias aéreas superiores (óleo diesel).

Preocupado com a exposição dos alunos aos vapores liberados pelos combustíveis, o professor realiza o experimento na quadra de esportes da escola por este ser um local mais amplo e ventilado que o laboratório disponível na escola.

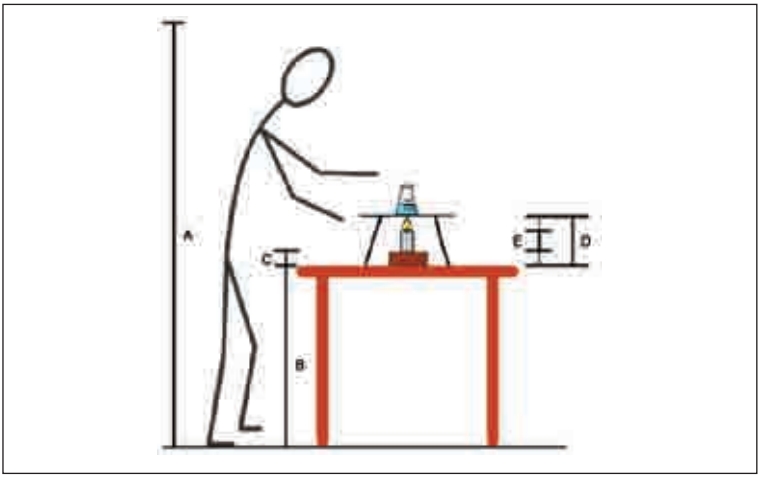

Figura 1 – Esquema de montagem do experimento sem indicar a posição variável dos anteparos de papelão, onde *A* (altura do professor) = 1,75 m; *B* (altura da mesa metálica) = 75 cm; *C* (altura do bloco de madeira) = 5 cm; *D* (altura do tripé metálico) = 20 cm; *E* (altura da lamparina) = *E* (altura da lamparina com pavio) = 13 cm

No local, em quatro mesas separadas, monta a aparelhagem necessária para a queima de cada combustível. Cada conjunto de aparelhagem é constituído de uma mesa metálica para suportar a aparelhagem, uma pequena lamparina de vidro, um suporte de madeira, um tripé de metal, uma tela de amianto, um erlenmeyer de 500 ml e um termômetro de laboratório comum, dispostos conforme a Figura 1.

Por estar o pátio sujeito à ação dos ventos, o professor improvisa anteparos feitos com papelão que são colocados, em posições variáveis, por fora do tripé, para proteger a chama da lamparina e, assim, mantê-la a mais estável possível durante a realização do experimento, permitindo, assim, um aquecimento homogêneo e similar a todos os erlenmeyers. Esse procedimento é extremamente necessário para a coleta e análise dos dados. Verifica também que, devido à altura dos tripés que irão sustentar os erlenmeyers, o aquecimento não será satisfatório, pois a chama produzida pelas lamparinas

ficará muito afastada, portanto, aproxima cada lamparina, interpondo, entre ela e a mesa, blocos de madeira. Uma balança semianalítica, utilizada para medir previamente a massa de cada combustível, permanece no laboratório.

Devido à altura da mesa e à posição da tela de amianto (que encobre a sua visão), o professor se encontra de pé diante da aparelhagem; para manusear a lamparina e os anteparos, necessariamente deve curvar-se, assumindo uma posição incômoda durante todo o desenrolar do experimento.

A capacidade da lamparina é de 50 ml, e o sistema do pavio não é rosqueado ao corpo da lamparina, sendo somente apoiado por uma arruela.

Inicialmente, no laboratório, o professor pesa as lamparinas vazias, transfere para cada uma volumes aproximados do líquido combustível e torna a pesá-las. Por diferença de massa, determina a massa transferida de cada combustível para cada lamparina. Em seguida, as lamparinas contendo os combustíveis são transferidas para o local do experimento.

Já no pátio, é adicionada água aos erlenmeyers e, a partir daí, são ajustados os anteparos; anotado o tempo do início da queima para cada combustível e após um intervalo de dez minutos, apagar-se-á o fogo de cada lamparina e será aferida a temperatura alcançada pela água, mergulhando o bulbo do termômetro no líquido, com um único termômetro. As lamparinas serão novamente pesadas e, pela diferença de massas, será determinado o consumo respectivo de cada combustível.

Ao iniciar o experimento, o professor acende três lamparinas e as coloca sobre os suportes de madeira; porém, após ter acendido a última lamparina, contendo a gasolina, e de tê-la colocado sobre o suporte de madeira, ao colocar o anteparo, esbarra com a mão nessa lamparina, que cai, derramando a gasolina sobre a mesa, que, ato contínuo, se incendeia.

O fogo é debelado por abafamento e, após um período de excitação por parte dos alunos, a situação é normalizada, as causas

imediatas do acidente são levantadas, mas a experiência é interrompida.

Construção da Árvore de Causas

Para a construção da Árvore de Causas (Figura 2) procurou-se seguir as recomendações de Pandaggis (2003). Considerando que a implementação de uma tarefa não se reduz a um fato isolado no ambiente de trabalho, tem-se como primeiro pressuposto que essa tarefa pertença a um sistema e, como tal, deve ser considerada a sua relação com os outros elementos que pertencem a esse sistema. O primeiro elemento é o sujeito que executa a tarefa, seguindo-se o material utilizado e o local de execução, isto é, o meio de trabalho onde se dá essa tarefa. Juntos, esses quatro elementos irão definir uma unidade de análise que é a atividade. Esses quatro componentes são assim identificados:

1. O indivíduo (I) refere-se à pessoa física e psicológica que, exercendo atividades na empresa, comporta, por isso, aspectos extraprofissionais; a vítima do acidente pode ser o próprio indivíduo ou outras pessoas que com ele se relacionam no local de trabalho, de modo direto ou indireto.
2. A tarefa (T) refere-se às ações do indivíduo.
3. O material (M) é o termo utilizado para designar os meios técnicos e materiais utilizados pelo indivíduo para executar a tarefa.
4. O meio de trabalho (MT) relaciona-se ao ambiente físico e social no qual está inserida a tarefa.

Utilizando o conceito de atividade para definir os componentes intervenientes no processo, o indivíduo (I), para executar uma tarefa (T), necessita de materiais (M) e desenvolve essa atividade no contexto das condições do meio ambiente do seu trabalho (MT).

Aplicado assim, o método permite desvelar a disfunção do sistema, como um todo.

Para compor essa unidade, foram entrevistados o professor e um aluno que participaram do experimento. Essas entrevistas, mesmo passados oito meses, permitiram compreender as atividades que estavam sendo realizadas quando ocorreu o acidente. Foram também analisadas as características dos materiais utilizados e do local em que o experimento foi realizado. Dessas entrevistas emergiram os fatores habituais, mas também os fatores eventuais que utilizamos para indicar os componentes da atividade experimental executada.

Na Tabela 1, é mostrada a relação dos fatores segundo os componentes do sistema, com as características causais habituais e eventuais; nesse último caso estão relacionados os fatores nos quais foram detectadas algumas variações que fogem à habitualidade.

Para cada fator identificado, são diagnosticados os seus antecedentes, compondo, assim, um diagrama das relações dos antecedentes e dos fatos que determinaram, direta ou indiretamente, o acidente.

Através do diagrama (Figura 2), como diz Pandaggis (2003), "é possível a reconstituição da rede de relações que explicam a passagem de uma variação para outra".

Na Figura 2 é mostrado o diagrama do encadeamento dos fatores levantados e avaliados no acidente em análise.

Tabela 1 – Relação dos fatores e dos componentes da atividade sob análise

Fator	Componente*	Habitual (X) Eventual (O)
1 – O professor está preocupado com a segurança.	I	X
2 – A lamparina acesa é transferida para o suporte.	T	O
3 – A mão do professor esbarra na lamparina acesa.	T	O
4 – A posição do professor é incômoda.	T	O
5 – A lamparina é acesa sobre a mesa.	T	O
6 – Improvisa-se um suporte de madeira.	T	O
7 – O professor utiliza anteparos.	T	O
8 – O professor trabalha sob pressão.	T	O
9 – Necessita-se de local ventilado para a ação.	MT	X
10 – A experiência é realizada no pátio.	T	O
11 – O pátio está sujeito aos ventos.	MT	X
12 – Experiências executadas concomitantemente.	T	O
13 – A lamparina acesa está instável.	M	O
14 – A lamparina é leve.	M	X
15 – A lamparina é pequena.	M	X
16 – O tripé é muito alto para a lamparina.	M	O
17 – Não há material apropriado no laboratório.	MT	X
18 – O laboratório não é suficientemente ventilado.	MT	X

(*) Indivíduo: I; Tarefa: T; Material: M; Meio de trabalho: MT.

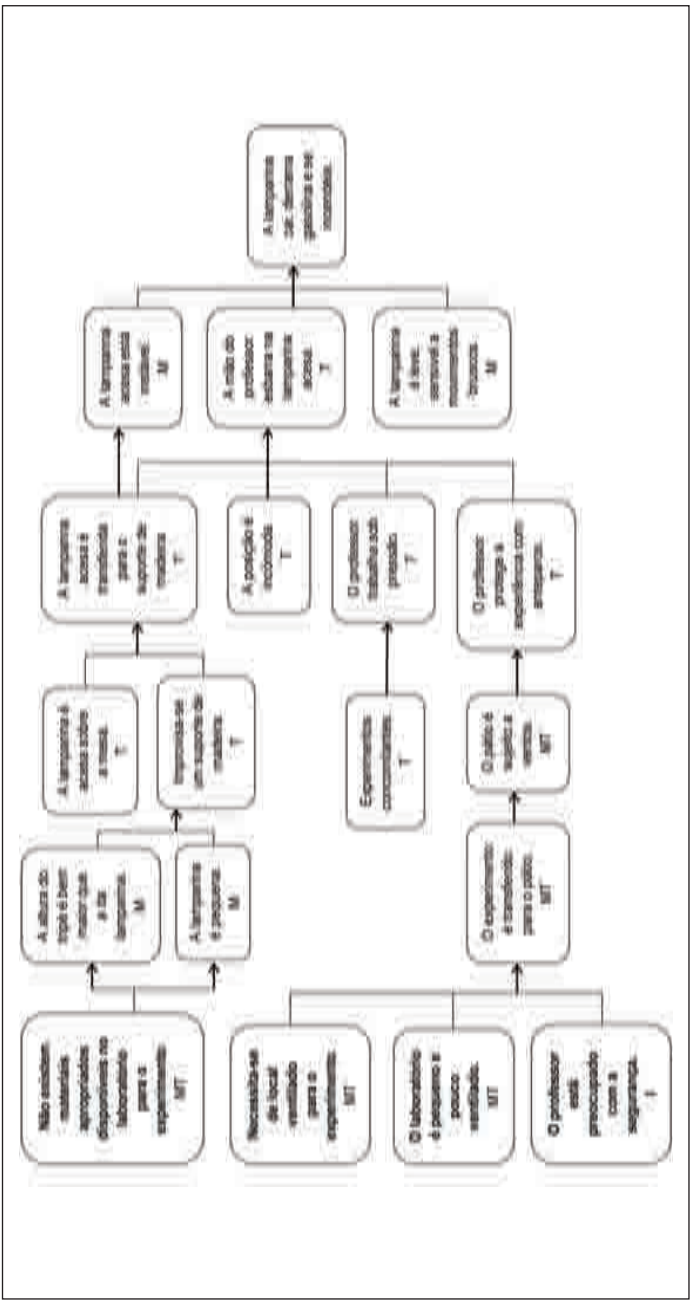

Figura 2 – Fluxograma da Árvore de Causas

A análise da Tabela 1 e do fluxograma da Árvore de Causas (Figura 2) revelam que a dinâmica das atividades que provocaram o acidente é composta por dezoito fatores, sendo que:

1. O componente indivíduo contribui com apenas um fator.
2. O componente tarefa é majoritário com nove fatores, sendo que nenhum dos fatores é de caráter habitual.
3. O componente material contribui com quatro fatores, sendo dois de caráter habitual: a lamparina é leve e pequena.
4. O componente meio de trabalho contribui com quatro fatores, sendo dois de caráter habitual: necessita-se de local ventilado e o pátio é sujeito à ação dos ventos, e os restantes são eventuais: não havia material apropriado nem o laboratório era suficientemente ventilado para a realização do experimento.
5. Cinco fatores são habituais: não há material suficiente e apropriado para a execução do experimento. Um dos equipamentos-chave para a realização do experimento – a lamparina – é leve e de pequena altura. Além do mais, o professor está preocupado com a segurança dos seus alunos, pois, para a realização do experimento, é necessário um local ventilado. Como o laboratório é pequeno e não é suficientemente ventilado, faz-se a opção para transferir a execução do experimento para o pátio que está sujeito aos ventos. Esta última ação dá início a uma série de improvisações, caracterizadas como eventuais: o professor utiliza anteparos de papelão para proteger a chama da lamparina da ação dos ventos e um suporte de madeira para aproximar a chama da lamparina do erlenmeyer que continha a água a ser aquecida no experimento. Considerando que as experiências estavam sendo executadas concomitantemente e, além disso, assumindo posições incômodas no preparo do experimento, o professor trabalha sobre pressão. A lamparina é acesa sobre a mesa e transferida para o suporte. Nessa posição, ela está instável. Inadvertidamente, ao colocar os anteparos de papelão, a mão

> do professor esbarra na lamparina que, leve e instável, cai derramando a gasolina que se incendeia.

A análise identificou que a falta de materiais e das condições apropriadas no laboratório para executar esse experimento foram as causas geradoras do incidente, contrariamente à causa imediata: a mão do professor esbarra na lamparina ao colocar os anteparos de papelão.

Como as experiências utilizariam líquidos inflamáveis e de odor forte, o professor, sensível às condições de segurança dos seus alunos, decidiu transferi-las para o pátio – local amplo e arejado –, porém sujeito à ação dos ventos. Isso o obrigou a fazer várias improvisações, como mostra a relação dos fatores eventuais (5/18), e a assumir posturas que comprometeram a segurança do processo.

Trabalhando sob pressão e em situação incômoda, colocou os anteparos protetores já com a lamparina acesa, que continha a gasolina, posicionada sobre o suporte de madeira. Inadvertidamente, esbarrou na lamparina, o que provocou a sua queda. A característica de leveza da lamparina e a sua posição instável, sobre o suporte de madeira, foram os últimos fatores desencadeantes do acidente.

A principal norma de segurança adequada para o caso analisado, qual seja, a de não trabalhar em ambientes pouco ventilados com líquidos inflamáveis e que, pela sua volatilidade, possam liberar vapores tóxicos comprometendo a saúde do professor e dos seus alunos, foi seguida; nem por isso o acidente foi evitado.

Os fatores desencadeantes do acidente foram a falta das condições mínimas de segurança do laboratório, bem como a ausência de aparelhagens minimamente necessárias, como capelas, exaustores e até mesmo lamparinas adequadas para o uso de combustíveis; essas falhas refletem deficiências no gerenciamento de segurança nas escolas, causadas pela adoção de políticas educacionais que priorizam a informação de normas em detrimento da formação.

Considerações finais

Embora se preocupando com a segurança, motivados pelo seu entusiasmo e profissionalismo, os professores, nem sempre suficientemente capacitados pelos seus cursos de graduação, não conseguem prever todas as variáveis interferentes decorrentes das condições precárias que lhes são oferecidas para a execução das atividades experimentais, e acabam buscando alternativas para o desenvolvimento de experimentos de caráter investigativo sem um suporte apropriado, tanto dos livros didáticos (que abordam a segurança, na maioria das vezes, por meio da indicação das normas de segurança) quanto dos procedimentos experimentais publicados em revistas especializadas de ensino, que priorizam exclusivamente a demonstração de uma teoria. Segundo Machado & Mol (2008, p.57), "muitos professores não utilizam a experimentação com a frequência que gostariam por não terem desenvolvido um bom domínio de laboratório durante a formação inicial. Isso porque grande parte das atividades realizadas na graduação tem caráter de comprovação das teorias".

A aplicação da metodologia da Árvore de Causas em um episódio de acidente em aulas práticas de ensino médio mostrou-se apropriada para evidenciar as causas geradoras de acidentes apresentando-se como um suporte apropriado para avaliação dos riscos das atividades experimentais em escolas do ensino médio.

As causas evidenciadas não são surpreendentes, pois se coadunam com as pesquisas na área que indicam que os professores se empenham para realizar aulas práticas, mesmo sem as condições apropriadas.

Assim, consideramos que o relato e a avaliação das causas do acidente abordado podem contribuir para a generalização naturalística que influencia a conscientização dos professores de cursos de graduação em Química, notadamente os professores dos cursos de licenciatura em Química, dos professores do ensino médio e dos gestores educacionais para os problemas de segurança decorrentes de práticas experimentais em escolas do ensino médio.

Consideramos que é viável a apresentação dessa metodologia para estimular a discussão sobre segurança e riscos com alunos do ensino médio a partir da análise dos experimentos de Química e de possíveis acidentes advindos desses procedimentos, embora a Árvore de Causas do caso relatado não tenha sido realizada com estudantes.

Agindo assim, estaremos contribuindo: primeiramente para combater a cultura existente no Brasil de, na ausência de uma análise mais aprofundada, culpar o próprio acidentado pelo acidente que o vitimou, segundo a concepção do ato inseguro, indicando, como medidas preventivas, mudanças de posturas comportamentais no trabalho que, sabidamente, como enfatiza Binder (1994), são as medidas de prevenção mais frágeis. Essa cultura poderia ser exemplificada por meio de uma análise superficial do acidente investigado, no qual a culpa do acidente recairia na falta de cuidado do professor verificada ao colocar os anteparos de papelão.

Espera-se, também, contribuir para a formação de cidadãos críticos e capazes de atuarem, como preconizam os PCN e a LDB, conscientes das questões relacionadas à segurança, tanto na conduta diária como no mundo do trabalho, não só pela adoção da prática de informar normas de segurança, mas, principalmente, como um processo educativo e formativo que venha a influenciar na redução dos altos índices de acidentes de trabalho verificados em nosso país.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA FOLHA. Experiência com soda cáustica leva 16 estudantes para o hospital. *Folha. Com*. 19/9/2005. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u113233.shtml>. Acesso em 16/6/2011.

ALMEIDA, I. M., FILHO, J. M. J. Acidentes e sua prevenção. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional (São Paulo)*, v.32, n.115, p.7-18, 2007.

BINDER, M. C. P. et al. A construção da culpa. *Trabalho e Saúde (São Paulo)*, v.37, n.14, p.15-7, 1994.

_____. Uso do método de Árvore de Causas na investigação de acidentes do trabalho típicos. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional (São Paulo)*, v.23, n.87/88, p.69-92, 1997.

BRASIL, MEC. Secretaria de Educação Básica. Programa Nacional do Livro Didático. *Guia de livros didáticos.* PNLD 2012: Química. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2011.

_____, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN + Ensino Médio*: orientaçõe educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2002.

GIMENES et al. Diagnósticos das condições de laboratórios, execução de atividades práticas e resíduos químicos produzidos nas escolas de ensino médio de Londrina-PR. *Química Nova na Escola (São Paulo)*, n.23, p.32-4, 2006.

HODSON, D. Experimentos na ciência e no ensino de Ciências. *Educational Philosophy and Theory.* Trad. Paulo A. Porto. v.20, p.53-66, 1988. Disponível em <http://www.iq.usp.br/wwwdocentes/palporto/TextoHodsonExperimentacao.pdf>. Acesso em 16/6/2011.

MACHADO, P. F. L. Segurança em laboratórios de Ciências. In: COLTINHO, L. G. R., FERREIRA, V. F. (Orgs.). *Contribuições aos professores de Química do ensino médio*. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. UFF, 2005. p.207-17.

_____, MOL, G. S. Experimentando Química com segurança. *Química Nova na Escola (São Paulo)*, n.27, p.57-60, 2008.

LÜDKE, M., ANDRÉ, M. E. D. *Pesquisa em educação*: abordagens qualitativas. 99p. São Paulo: EPU, 1986.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Incidência aumenta na faixa etária entre 16 e 34 anos. Sindicato da Indústria de Produtos Farmacêuticos do Estado de São Paulo – Sindusfarma. *Informativo* n.5, p.3, 2008. Disponível em <http://www.sindusfarma.org.br/informativos/Boletim0052008.doc>. Acesso em 16/6/2011.

NAGAI, R. et al. Conhecimentos e práticas de adolescentes na prevenção de acidentes de trabalho: estudo qualitativo. *Revista de Saúde Pública (São Paulo)*, v.43, n.3, p.404-11, 2007.

PANDAGGIS, L. R. *Uma leitura da* Árvore *de Causas no atendimento de demanda do Poder Judiciário*: um fluxograma de antecedentes. São Paulo, 2003. 151f. Dissertação (mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em <http://www.fundacentro.gov.br/dominios/CTN/anexos/teses_pdf/FluxogramaAntecedentes.pdf>. Acesso em 16/6/2011.

REASON, J. Safety paradoxes and safety culture. *Injury Control and Safety Promotion (Londres)*, v.7, n.1, p.3-14, 2000.

SÁ, L. P. et al. Estudos de casos em Química. *Química Nova (São Paulo)*, v.30, n.3. p.731-9, 2007.

SILVA, R. R., MACHADO, P. F. L. Experimentação no ensino de Química: a necessária busca da consciência ético-ambiental, no uso e descarte de produtos químicos – um estudo de caso. *Ciência & Cultura (Bauru)*, v.14, n.2, p.233-49, 2008.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA. STJ eleva indenização à vítima de experiência de combustão realizada em jardim de infância. *Direito 2*, 17/8/2001. Disponível em <http://www.direito2.com.br/stj/2001/ago/17/stj_eleva_indenizacao_a_vitima_de_experiencia_de_combustao_realizada>. Acesso em 16/6/2011.

7

Utilização e avaliação de objetos de aprendizagem por professores de Química do ensino médio

Marcelo Maia Cirino[1]
Aguinaldo Robinson de Souza[2]

Introdução

Este trabalho[3] procurou avaliar alguns dos objetos de aprendizagem, inseridos no projeto Rede Interativa Virtual de Educação – Rived, através do programa *Teia do Saber* de formação continuada, para professores da rede pública do Estado de São Paulo. Através do programa de capacitação, os professores puderam interagir com alguns dos módulos da disciplina de Química e fazer uma avaliação preliminar do projeto. Os resultados da pesquisa de opinião e dos

1. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da UNESP/Bauru. Docente do Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá – UEM. *e-mail*: mmcirino@uem.br.
2. Livre-docente do Departamento de Química da UNESP. Professor do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência – campus de Bauru. *e-mail*: arobinso@fc.unesp.br.
3. Este capítulo é uma versão estendida de trabalho apresentado durante o VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – VII Enpec.

questionários com os professores envolvidos indicaram que a proposta de uso dos módulos é, não só viável, como possibilita a introdução de conhecimentos sobre a informática aos estudantes e favorece as aulas de Química por meio de uma abordagem didática estimulante.

O Rived é um programa da Secretaria de Educação a Distância (Seed) do Ministério da Educação (MEC), que tem por objetivo a produção de conteúdos pedagógicos digitais, na forma de Objetos de Aprendizagem – OAs. Esses conteúdos se destacam por estimular o raciocínio e o pensamento crítico dos estudantes, associando o potencial da informática às novas abordagens pedagógicas (Brasil, 2005). Ainda segundo o sítio eletrônico oficial do projeto, a meta que se pretende atingir disponibilizando esses conteúdos digitais é melhorar a aprendizagem das disciplinas da educação básica e a formação cidadã do aluno. Além de promover a produção e publicar na rede da internet os conteúdos digitais para acesso gratuito, o Rived realiza capacitações sobre a metodologia para produzir e utilizar os objetos de aprendizagem nas instituições de ensino superior e na rede pública de ensino. O projeto surgiu a partir de 1997, quando se iniciou o acordo Brasil-Estados Unidos sobre o desenvolvimento de tecnologias para uso pedagógico. A participação do Brasil teve início em 1999 por meio da parceria entre Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico (hoje SEB) e a Secretaria de Educação a Distância (Seed). Brasil, Peru e Venezuela foram os países que participaram inicialmente do projeto e a equipe do Rived, na Seed, foi responsável, até 2003, pela produção de 120 objetos de Biologia, Química, Física e Matemática para o ensino médio. Em 2004, a Seed transferiu o processo de produção de objetos de aprendizagem para as universidades, cuja ação recebeu o nome de Fábrica Virtual. Com a expansão do Rived para as universidades, previu-se também a produção de conteúdos nas outras áreas de conhecimento e também para o ensino fundamental, profissionalizante e para atendimento às necessidades especiais. A partir dessa nova política de ação, o Rived (Rede Internacional Virtual de Educação) passou a se chamar

Rede Interativa Virtual de Educação – Rived. Segundo Reis & Faria (2003, p.1) o Rived está estruturado de acordo com as características a seguir:

a) é um programa educativo e não um programa tecnológico, assim, é um projeto que propõe explorar o potencial da tecnologia para desenvolver os processos de ensino-aprendizagem;
b) propõe uma reforma educativa e não uma reforma curricular – não se pretende realizar uma reforma nos currículos dos países participantes, pretende-se melhorar o ensino pela tradução dos currículos em conhecimentos significativos para os alunos e professores;
c) é um sistema integrado e não um material adicional de informação educativa, assim, propõe melhorar as estratégias de ensino dentro do sistema de educação existente e não na criação de sistemas paralelos;
d) sua principal função é melhorar as aulas e não substituí-las ou tomar o lugar do professor, assim, pretende-se melhorar o papel do professor como facilitador e líder do processo ensino-aprendizagem e melhorar igualmente o papel do estudante no sentido de aprender, pensar, investigar e solucionar problemas;
e) está implantado na internet, mas não depende dela – propõe fazer o melhor uso possível das possibilidades e recursos da internet, mas as escolas podem ter acesso a todos os módulos sem necessidade da rede.

Já o programa Teia do Saber, cuja duração se estendeu de 2003 a 2008, foi criado pela Secretaria de Estado da Educação de São Paulo e tinha como finalidades:

1. aliar o trabalho de fundamentação teórica com as vivências efetivas dos educadores que atuam nas escolas públicas estaduais;
2. manter os professores atualizados sobre novas metodologias de ensino, voltadas para práticas inovadoras;
3. tornar os professores aptos a utilizarem novas tecnologias a serviço do ensino, a organizar situações de aprendizagem e a enfrentar as inúmeras contradições vividas em salas de aula.

Nesse contexto, o programa Teia do Saber procurou atender a diferentes demandas de uma rede ampla e complexa, respeitando a cultura local e valorizando a autonomia da escola. Para isso, combinou ações centralizadas, organizadas a partir de iniciativas tomadas pelos órgãos centrais, com ações descentralizadas, geradas nas Diretorias de Ensino (D. E.) e escolas. As ações centralizadas eram caracterizadas por sua grande abrangência e simultaneidade e objetivavam a circulação e lançamento de novas ideias e propostas, a reflexão sobre questões de relevância para a educação com temáticas de interesse geral ou específicas, para irradiação nas diferentes regiões e escolas.

Os objetos de aprendizagem produzidos pelo projeto Rived

Um objeto de aprendizagem é qualquer recurso que possa ser reutilizado para dar suporte ao aprendizado. Sua principal ideia é "quebrar" o conteúdo educacional disciplinar em pequenos trechos que possam ser reutilizados em vários ambientes de aprendizagem. Qualquer material eletrônico que contém informações para a construção de conhecimento pode ser considerado um objeto de aprendizagem, seja essa informação em forma de uma imagem, uma página htm, uma animação ou simulação (Brasil, 2005). Silva et al. (2007), citando Muzio, Heins & Mundell (2001), definem objeto de aprendizagem como objeto de comunicação designado e/ou utilizado para

propósitos instrucionais. Segundo Souza et al. (2007), citando Wiley (2001), objetos de aprendizagem surgem como elementos de um novo tipo de instrução, com base em meios computacionais e no paradigma de orientação a objetos utilizados na área de ciência da computação. Mas, para Macedo et al. (2007), os estudos sobre objetos de aprendizagem são muito recentes e não há ainda um consenso universalmente aceito sobre sua definição. Por fim, o Ministério da Educação (Brasil, 2003) orienta que os objetos de aprendizagem devem objetivar:

1. o aprimoramento da educação presencial e/ou à distância;
2. o incentivo à pesquisa e à construção de novos conhecimentos para melhoria da qualidade, equidade e eficiência dos sistemas públicos de ensino;
3. a incorporação didática das novas tecnologias de informação e comunicação.

Os objetos de aprendizagem produzidos pelo Rived são atividades multimídia, interativas, na forma de *animações* e *simulações*. A possibilidade de testar diferentes caminhos, de acompanhar a evolução temporal das relações causa e efeito, de visualizar conceitos de diferentes pontos de vista, de comprovar hipóteses, faz das animações e simulações instrumentos poderosos para estimular novas ideias, para relacionar conceitos, para despertar a curiosidade e para resolver problemas (Reis & Faria, 2003). Essas atividades interativas oferecem oportunidades de exploração de fenômenos científicos e conceitos muitas vezes inviáveis ou inexploradas nas escolas por questões econômicas ou de segurança, por exemplo: experiências em laboratório com substâncias químicas ou envolvendo conceitos de genética, velocidade, grandeza, medidas, força, etc. Os conteúdos do Rived ficam armazenados num repositório e quando acessados, via mecanismo de busca, vêm acompanhados de um "guia do professor" com sugestões de uso. Cada professor tem liberdade de usar os conteúdos sem depender de estruturas rígidas: é possível usar o conteúdo como um todo, apenas

algumas atividades ou apenas alguns objetos de aprendizagem como animações e simulações. Os conteúdos produzidos pelo Rived são públicos e estarão sendo, gradativamente, licenciados pelo Creative Commons.[4] Esses conteúdos podem ser acessados por meio do sistema de busca – repositório *on-line*, que permite visualizar, copiar e comentar os conteúdos publicados. Com a licença Creative Commons, garantem-se os direitos autorais dos conteúdos publicados e possibilita-se a outros copiar e distribuir o material, contanto que atribuam o crédito aos autores.

A informática no ensino de Ciências

Segundo Giordan (1999), uma das estratégias largamente disseminadas de ensino para a área de Ciências é a experimentação. Uma das metas da atividade experimental é aproximar o aluno do processo de construção da ciência, não com o objetivo de transformá-lo num cientista, mas principalmente auxiliá-lo a perceber os diversos aspectos da ciência, seus potenciais e suas limitações. Além disso, pode-se destacar também o caráter pedagógico da experimentação, pois, através da interação com a diversidade de materiais e a análise dos dados, o aluno pode estabelecer relações conceituais intensas e frutíferas. Discutir o experimento, seus resultados e as questões a ele associadas é de extrema importância para que se alcance esse propósito pedagógico. A respeito da experimentação e de suas possíveis falhas, Giordan (1999, p.46) destaca que:

4. Creative Commons é uma organização não governamental sem fins lucrativos, localizada em São Francisco, Califórnia (EUA), voltada a expandir a quantidade de obras criativas disponíveis, através de licenças que permitam a cópia e o compartilhamento com menos restrições que o tradicional sistema "todos os direitos reservados". Para esse fim, a organização criou diversas licenças, conhecidas como licenças Creative Commons.

> [...] Numa dimensão psicológica, a experimentação, quando aberta às possibilidades de erro e acerto, mantém o aluno comprometido com sua aprendizagem, pois ele a reconhece como estratégia para a resolução de uma problemática da qual ele toma parte diretamente, formulando-a inclusive [...]

Porém, em muitos casos, trabalhar com experimentação é extremamente complicado em escolas que não dispõem de laboratórios ou espaços adaptados para tal fim. Consequentemente, as aulas ficam restritas ao ambiente e aos métodos tradicionais, e o professor acaba se mantendo passivo e acomodado diante dessa situação, sem buscar atividades práticas para desenvolver em suas aulas. Nesse contexto, segundo Gabini (2005), a utilização da informática e de novas tecnologias de informação pode ser bastante motivadora e atraente, a ponto de fazer aumentar o interesse e a participação dos estudantes acerca do conteúdo apresentado. Um aspecto a se ponderar com relação ao uso dos computadores é a ideia de experimentação. Todos os que estão em contato com a tela do computador, seja na internet ou utilizando *softwares*, são experimentadores e, diante dos resultados inesperados, das diversas possibilidades que são oferecidas, errar passa a fazer parte da busca. Isso pode acontecer com os mais experientes e com os iniciantes, sendo que os primeiros também se pegam exercendo despreocupadamente o seu direito de navegar, sendo surpreendidos com os imprevistos, o que os torna mais inventivos e criativos. Assim, trabalhar com o computador requer abertura para repensar o que estava inicialmente programado, construindo e reconstruindo o que está sendo realizado.

A utilização do computador, como ferramenta de apoio no processo de ensino-aprendizagem, deve ser administrada com cuidado, para que se adapte às reais necessidades do projeto pedagógico da escola e mantenha-se focada nos objetivos educacionais (Soares et al., 2000; Fernandes et al., 1996). Dessa maneira, segundo Rossi & Toretti (2003), vêm sendo desenvolvidos programas para serem utilizados como material de apoio para as aulas. Paralelamente,

grandes investimentos têm sido feitos visando à introdução da informática nas escolas, principalmente as da rede pública, mas ainda se nota um distanciamento por parte dos professores entre as propostas dessas políticas educacionais e a realidade de sua implementação na sala de aula. Equipar as escolas com uma estrutura mínima em termos de equipamentos e disponibilizar programas específicos para diversas disciplinas são tarefas importantes que o Estado vem tentando cumprir, mas, de acordo com os depoimentos de muitos dos professores entrevistados neste trabalho, é possível detectar certas dificuldades de aceitação e de adaptação a essa nova ferramenta didática. Considerando o domínio atual e crescente da hipermídia e das novas tecnologias, podemos ser levados a pensar que o professor passa a desempenhar um papel de menor relevância, podendo mesmo vir a ser substituído pelas máquinas. No entanto, analisando o ambiente de aprendizagem da sociedade atual, verifica-se que ocorre exatamente o contrário. No meio da enorme quantidade de informação com que o aluno é bombardeado e que lhe chega de forma desorganizada, o professor assume agora um papel essencial de organizador e facilitador da aprendizagem, conduzindo e oferecendo sentido a essas informações. A informação massiva, existente nas bases de dados, exige uma maior capacidade de formulação de problemas e de espírito crítico, para que a escolha da informação seja pertinente.

Desse modo, a responsabilidade do professor aumenta em vez de diminuir, uma vez que deixa de agir num plano disciplinar bem definido e limitado a um conhecimento que adquiriu na sua formação inicial. Das mãos de professores competentes e confiantes esperam-se novas dimensões de ensino na sala de aula. Eles devem ser capazes de ultrapassar o paradoxo aparente que existe entre o ensino tradicional e o que recorre às Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), encontrando o justo equilíbrio. Para tal, temos de compreender que as novas tecnologias potencializam os métodos que o professor há muito conhece e que não se trata de alterar tudo à custa das TICs, mas de inovar as formas de concretizar os objetivos estabelecidos (Paiva, 2002). No mundo dos computa-

dores, da internet e do universo multimídia, o professor é chamado à mudança, vendo-se obrigado a repensar a sua profissão, as estratégias que utiliza e a lutar pela melhoria das práticas educativas. Perante a rápida evolução e o aparecimento acelerado de novas e flexíveis ferramentas computacionais para a educação, a formação continuada assume, sem dúvida alguma, um papel central na carreira de um professor. É necessário investir nesse campo para encorajar a utilização das TICs no quotidiano escolar. Na Tabela 1, são apresentadas algumas das atitudes e competências dos professores com relação às TICs, segundo Morais (2006), no âmbito do projeto europeu Profiles in ICT[5] for Teachers Education. Como se percebe nessa tabela, preparar futuros cidadãos para a utilização dos meios tecnológicos não significa apenas adquirir habilidade na sua aplicação. Implica também, e mais do que nunca, a capacidade de interpretar criticamente a sua utilização.

> Para isto, torna-se extremamente necessário preparar o professor para utilizar pedagogicamente as tecnologias na formação de cidadãos que deverão produzir e interpretar as novas linguagens do mundo atual e futuro. (Sampaio & Leite, 1999, p.76)

A formação de professores no domínio das TICs é hoje de fundamental importância para muitos pesquisadores da área de Educação em Ciências (Silva et al., 2007), mesmo sem a certeza de que esse envolvimento resulte em contrapartida num maior entusiasmo e comprometimento dos professores, ou que venha a traduzir-se no aperfeiçoamento das práticas pedagógicas em contextos educativos a curto prazo.

Diversos trabalhos na área das TICs aplicadas ao ensino de Ciências preconizam a exploração do potencial das tecnologias nos processos de ensino e aprendizagem, pois, quando utilizadas de maneira apropriada, são capazes de transformar formas de pensa-

5. Information and Communication Technologies (correspondente à sigla TIC em português).

Tabela 1 – Perfil do professor definido no âmbito do projeto europeu *Profiles in ICT for Teachers Education*.

Perfil do professor		
Atitudes	▪ Abertura às inovações tecnológicas. ▪ Aceitação da tecnologia. ▪ Capacidade de adaptação/mudança do papel do professor. ▪ Ensino centrado no aluno, aberto à participação do aluno. ▪ Professor como mediador e facilitador da comunicação.	
Competências	*Ensino Geral*	▪ Metodologia de ensino com as TICs. ▪ Planejamento das aulas com as TICs. ▪ Integração das mídias. ▪ Monitoração/Avaliação. ▪ Avaliação de conteúdos TIC. ▪ Questões de segurança, de ética e legais na utilização das TICs. ▪ Atualização científica.
	Ensino da Disciplina	▪ Investigação. ▪ Avaliação de recursos. ▪ Integração na comunidade científica. ▪ Ligação a possíveis parceiros. ▪ Utilização do material em outras línguas. ▪ Participação em *newsgroups*.
	Competências TIC	▪ Atualização de conhecimentos em TIC/ plataformas e ferramentas TIC. ▪ Familiarização com ferramentas que sirvam para: – Comunicar; – Colaborar; – Pesquisar; – Explorar; – Coligir dados; – Processar dados; – Expandir conhecimentos. ▪ Integrar ferramentas.

Fonte: Extraído de Morais, 2006, p.38.

mento e de linguagem [ver Silva et al. (2007); Giordan (1999, 2005, 2008); Giordan & Góis (2005); Gabini (2005); Eichler & Del Pino (1999, 2000); Ribeiro & Greca (2003); Rossi & Toretti (2003); Morais (2006); Soares et al. (2000); Monteiro et al. (2006); Souza et al. (2007)].

Giordan (2008), comentando as políticas públicas que norteiam as normas de emprego do computador em sala de aula, assinala:

> [...] não há dúvidas sobre as exigências do mercado de trabalho mobilizar a atenção daqueles que planejam a educação, mas serão elas as definidoras dos propósitos das ações educativas na sala de aula? [...] por certo, não é possível reduzir, nem muito menos orientar toda a dinâmica da sala de aula ao que se supõe ser o núcleo ou a essência dos conhecimentos e das habilidades para agir com o computador, ou agir por meio dele [...]. (Giordan, 2008, p.22)

O autor assinala que, para a correta compreensão das funções das TICs no ensino e na aprendizagem, é necessário considerar os efeitos produzidos pelas suas formas de uso em sala de aula, quando as mesmas estão mergulhadas num contexto que as toma como meios de mediação capazes de sustentar a realização de ações motivadas por propósitos definidos pela própria cultura escolar (idem, 2008). Giordan propõe um programa de pesquisa que se constitui a partir de construtos teórico-metodológicos de raízes socioculturais no sentido de defender uma abordagem situada para organizar o ensino e investigar processos de elaboração de significados em sala de aula. Nesse programa, o computador e o conhecimento químico são alçados à categoria de *ferramentas culturais* que são utilizadas por alunos e professores para mediar ações internas e externas. Giordan se utiliza dos conceitos oriundos da teoria da ação mediada, de James Wertsch (1991, 1998), que por sua vez se apoia nos estudos sobre a gênese do conhecimento de Vigotsky e nos estudos literários e linguísticos de Bakhtin. Essa teoria, de acordo com Giordan (2005), produz interfaces muito produtivas com comuni-

dades de pesquisa em Educação e, em particular, com a Educação em Ciências:

> [...] a comunicação mediada por computador tem dado sinais claros do surgimento de uma nova modalidade de comunicação, formada não apenas pela combinação de traços da oralidade e da escrita, e a já anunciada hipertextualidade, mas também pelo aporte da simulação, ou o que se tem chamado de realidade virtual [...]. (Giordan, 2008, p.111)

Assim, é possível, conforme Giordan (2008), listar seis formas ou situações de utilização do computador em sala de aula de Ciências:

1. linguagem de programação;
2. sistemas tutoriais;
3. caixas de ferramentas;
4. simulação e animação;
5. comunicação mediada por computadores;
6. dinâmica das interações diante do computador.

O autor discorre sobre as seis formas citadas em seu livro *Computadores e linguagens nas aulas de Ciências*, apresentando uma detalhada e criteriosa análise que justifica a categorização. Para o desenvolvimento do nosso trabalho, que se propôs a investigar os resultados da utilização de alguns dos módulos dos objetos de aprendizagem na área de Química por parte de professores da rede estadual pública de São Paulo, utilizamos a quarta das situações listadas, *simulação e animação*, como referência, uma vez que os módulos manipulados pelos professores apresentam exatamente essas características.

A investigação: procedimentos metodológicos

A formação continuada dos professores foi realizada através do programa Teia do Saber, conforme já destacamos. Uma instituição superior de ensino particular da região de Ourinhos (SP) ficou encarregada dessa capacitação,[6] em convênio com a Diretoria de Ensino (D. E.) dessa região do Estado de São Paulo. Ao todo, 23 professores da área de Ciências Naturais (Química, Física e Biologia) participaram do treinamento, que foi ministrado por um dos autores deste trabalho (tutor). Desse total, 15 eram da área de Química, ou lecionavam essa disciplina no ensino médio na rede estadual paulista. Durante os encontros iniciais, os professores receberam uma introdução teórica sobre o Projeto Rived, seu histórico e seus objetivos. Nos encontros seguintes puderam então manipular/utilizar os módulos de Química do projeto Rived destinados ao ensino médio. Escolhemos dois desses módulos ou objetos de aprendizagens, de agora em diante designados pela sigla OAs:

1. Soluções.
2. Os mistérios químicos da chuva ácida.

A escolha desses OAs deveu-se ao fato de estarem à época com seus tutoriais completos e com suas telas de animação/simulação já finalizadas, ou seja, totalmente desenvolvidos pelas equipes vinculadas ao projeto. Cada professor participante dispunha de um microcomputador (PC) conectado à internet para que pudesse explorar de forma efetiva cada OA apresentado (na mesma ordem citada acima) e um período de tempo correspondente a quatro horas-aula para cada um dos módulos. O professor tutor acompanhou cada uma das etapas. Os professores também puderam inte-

6. As instituições superiores de ensino conveniadas com as D. E. fornecem, normalmente, as instalações físicas, como salas de aula e laboratórios de informática, onde a capacitação se desenvolve, além de providenciarem os tutores e professores que ministram os cursos.

ragir durante os encontros, trocando opiniões, ideias, argumentos e sugestões, tanto entre si como com o tutor. Ao final das etapas de utilização dos OAs, os professores foram submetidos a um questionário, com questões abertas (semiestruturado), que se constitui no *corpus* documental desta investigação. Os OAs disponibilizados apresentavam praticamente a mesma estrutura básica de acesso e navegação:

a) *Guia do professor*: composto de uma introdução teórica do conteúdo, objetivos, pré-requisitos básicos, estimativa de duração da atividade e questões para discussão.
b) *Tutoriais*: atividades pré e pós-utilização do OA, discussões e avaliação, além de dicas e de referências bibliográficas.

Nos quadros a seguir, mostramos algumas informações sobre os módulos escolhidos para a investigação. No OA "Soluções", destinado a alunos da 2ª série do ensino médio, a ênfase é o preparo e a verificação da concentração de soluções num ambiente virtual que simula um laboratório, com equipamentos e vidrarias necessárias para esse fim. Através de telas interativas e de simulação/animação, o estudante é convidado a preparar, comparar e converter unidades de concentração para diversos tipos de soluto e soluções. As telas procuram auxiliar nos cálculos e informam o estudante quando os dados obtidos são incorretos ou incompatíveis com a concentração pretendida. No OA "Os mistérios químicos da chuva ácida", destinado a alunos da 1ª série do ensino médio, é contada nas telas de animação a estória de uma cidadezinha, localizada à beira de um lago, e de como uma indústria que despeja na atmosfera compostos poluentes (óxidos variados) modifica a acidez da água da chuva tornando as águas do lago impróprias para qualquer tipo de atividade. O cenário virtual mostra inclusive, com acompanhamento de aparelhos imersos no lago (pHmetros), a evolução dos níveis de acidez das águas. O estudante é convidado a interagir com as telas para explicar as alterações químicas e ambientais decorrentes da ação da indústria poluidora.

Quadro 1 – Dados do objeto de aprendizagem "Soluções" (extraído do Projeto Rived)

Tipo de objeto	Atividade Rived
Título	Soluções
Série	2ª série (ensino médio)
Categoria	Química
Subcategoria	Gráficos, saúde, soluções
Tecnologias utilizadas	HTML, PHP, XML
Tamanho	183 KB
Publicação	15/1/2005

Objetivo: 1. Preparar soluções para um determinado fim. 2. Preparar soluções e calcular sua concentração. 3. Identificar e utilizar diferentes formas de expressão da concentração de uma solução.
Pré-requisito: 1. Conhecer e saber relacionar as unidades de medida de concentrações, tais como g.L-1, mol.L-1 e ppm. 2. Conhecer e saber aplicar o conceito de quantidade de matéria, volume, massa, densidade e título.
Observações: 1. O guia do professor traz sugestões que enriquecem a atividade. 2. Esta atividade possui um grande potencial de reutilização.
Autoria: Maria Aparecida Prado, Anna Christina de Azevedo Nascimento, Wellington Moura Maciel, Diogo Pontual, Juliana Rangel, Silvana Nietske, Danilson de Carvalho – Rived/Seed/MEC.

Quadro 2 – Dados do objeto de aprendizagem "Os mistérios químicos da chuva ácida" (extraído do Projeto Rived)

Tipo de objeto	Conteúdo produzido para o concurso Rived
Título	Os mistérios químicos da chuva ácida
Série	1ª série (ensino médio)
Categoria	Química
Subcategoria	Ácidos e bases
Tecnologias utilizadas	XML
Tamanho	240 KB
Publicação	29/2/2006

Objetivo: Identificar alguns óxidos, suas estruturas e suas reações específicas; identificar alguns ácidos pelo conceito de Arrhenius e suas reações; ler e interpretar informações e dados apresentados em diferentes linguagens ou forma de apresentação, como símbolos e fórmulas; compreender a chuva ácida, suas consequências e suas evidência que estão relacionadas no cotidiano; conhecer e aplicar o conceito de pH.
Pré-requisito: Conhecer conceitos relacionados a funções inorgânicas.
Observações: No método do aluno, nos passos 12-13-14-15-16-17-18 não estão necessariamente nessa ordem. Isso porque o aluno pode abrir a biblioteca a qualquer momento da atividade. Caso o professor queira alterar e principalmente acrescentar questões para abordar outros tópicos que estão relacionados com chuva ácida, reações químicas ou pH, por exemplo, equilíbrio químico, reações de oxi-redução, estequiometria, concentração, etc. poderão fazê-lo através do XML. A animação do barco afundando é para deixar em aberto para esse tipo de alteração. A explicação de como fazê-lo estará no arquivo XML.
Autoria: Fernando Ferreira Queiroz, Henrique de Araujo Sobreira – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (RS).

Após a utilização dos módulos, os professores foram solicitados a responder a um questionário com questões semiabertas. Que foi então submetido a uma cuidadosa análise. Para avaliarmos esses documentos recorremos à *"análise textual discursiva"* (Moraes & Galiazzi, 2007). De acordo com esses autores, ao se utilizar essa metodologia, é necessária cuidadosa unitarização (nossas unidade de análise foram as respostas transcritas dos questionários), que deve ser feita com intensidade e profundidade, passando-se então à articulação dos significados semelhantes num processo denominado categorização. Na categorização são reunidas as unidades de significado semelhantes, gerando assim categorias mais amplas de análise. Dessa forma, como seu próprio nome indica, a análise textual trabalha com textos ou amostras de discursos, e esses materiais submetidos à análise podem ter muitas e diferentes origens: entrevistas, registros de observações, depoimentos feitos por escrito por participantes, gravações de aulas, de discussões de grupos, de diálogos de diferentes interlocutores, etc. (Moraes & Galiazzi, 2007). O conjunto de textos submetidos à análise costuma ser denominado de *corpus* e representa, de acordo com Moraes & Galiazzi (2007, p.15), "uma multiplicidade de vozes se manifestando sobre o fenômeno investigado". Ainda de acordo com esse autor, o pesquisador precisa estar consciente de que, ao examinar e analisar seu *corpus*, é influenciado por todo esse conjunto de vozes, ainda que sempre faça suas leituras a partir de seus próprios referenciais. O conteúdo dos questionários aplicados aos quinze professores da área de Química foi, portanto, objeto de nossa análise textual. A partir da análise desse *corpus*, categorizamos as respostas e comentários de maneira que pudéssemos elaborar uma avaliação acerca das interações dos professores com os OAs disponibilizados. As unidades básicas de análise que serviram de suporte às unitarizações foram as questões abertas, inseridas no questionário aplicado. Cada resposta a cada uma das perguntas foi considerada uma unidade de análise e, portanto, serviu ao processo de unitarização do texto completo. Segundo Moraes & Galiazzi (2007), a fragmentação dos textos é concretizada por várias leituras, identificando-se

e codificando-se cada fragmento destacado. Antes de desenvolvermos as ideias principais, no formato de categorização, elaboradas a partir da *análise textual discursiva*, faremos uma breve discussão sobre a natureza dos OAs disponibilizados aos professores, utilizando como referencial teórico os trabalhos de Giordan (2005, 2008).

Formas de utilização do computador em sala de aula

Conforme já citamos anteriormente, uma das seis maneiras de utilização do computador em sala de aula, de acordo com Giordan (2008, p.125), é a *simulação e animação*, sendo que a transposição do fenômeno estudado para o computador pode ser feita ainda de três formas: reprodução na tela do fenômeno filmado; animação obtida pela sequência de ilustrações e simulação por meio da combinação de um conjunto de variáveis de maneira a reproduzir as leis que interpretam o fenômeno. Para Giordan (2008), à medida que os estudantes interagem com meios de comunicação como os OAs e se apropriam desses dispositivos sociotécnicos, sua atenção se mobiliza através da aplicação simuladora do fenômeno e o controle sobre variáveis pode ser exercido com o objetivo de observar regularidades, estabelecer premissas, fazer previsões, ou ainda a própria representação visual do fenômeno simulado pode servir de referência para que o aluno elabore *narrativas explicativas* sobre o mesmo. Do ponto de vista da teoria do conhecimento, para Giordan (2008, p.128), a simulação conjugada à visualização conduz a uma mudança de fundo na interpretação do fenômeno de grande potencial para a educação em Ciências, pois, durante a elaboração das *narrativas explicativas*, o aluno poderá se referir tanto aos ditames teóricos quanto aos eventos empíricos circunscritos ao mesmo, devido, em grande parte, à justaposição do controle das variáveis embutidas nas leis que regem o fenômeno. Numa simulação, de acordo com Ribeiro & Greca (2003), o comportamento dos OAs deve re-

presentar o funcionamento do sistema real, segundo as teorias ou modelos que o descrevem, ou seja, devem ser representações de um sistema que a teoria supõe ser real, que possibilite interações sem as limitações ou perigos que o sistema real possa ter. Ainda segundo esses autores, nesse tipo de *software*, existe um modelo subjacente predeterminado, construído pelo pesquisador ou professor, ao qual o aluno não tem acesso, o que significa que este não tem condições de questioná-lo, discuti-lo ou modificá-lo. Através desse tipo de programa, o aluno é capaz de visualizar eventos que acontecem num nível submicroscópico para construir posteriormente um modelo mental do fenômeno e, a partir deste, fazer previsões. Ambos os OAs disponibilizados aos professores do nosso grupo de investigação mostravam telas de apresentação com elementos gráficos com *links* de acesso para outras simulações, animações ou demonstradores. Foi solicitado aos professores que explorassem exaustivamente todas as telas dos OAs para, em seguida, responder ao questionário, que foi baseado no trabalho de Abreu et al. (2006, p.341), com perguntas que versavam sobre:

a) *qualidade do conteúdo* (se os itens nos OAs contemplam: veracidade, fidedignidade, detalhamento, gramática correta, etc.);
b) *adequação aos objetivos educacionais* (se há coerência entre os objetivos educacionais dos OAs e as atividades propostas, os textos e o perfil do público-alvo);
c) *motivação* (se os objetos motivam, estimulam o aluno a utilizá-lo);
d) *interface* (se o *design* e as informações presentes nos OAs apresentam padrão nos requisitos: cor, tipo de botão, etc.);
e) *usabilidade* (se os OAs são fáceis de navegar, oferecem ajuda aos alunos, possuem instruções claras de uso);
f) *suporte ao professor* (na forma de tutoriais e/ou materiais didáticos auxiliares).

Tais critérios foram escolhidos com intuito de identificar a contribuição para utilização desse material no ensino médio, analisando os aspectos pedagógicos e tecnológicos. Os resultados foram tabulados, conforme podem ser vistos nas tabelas 2 e 3, cujo formato se inspirou no trabalho de Ribeiro & Greca (2003, p.546). A utilização dos OAs foi categorizada nas colunas verticais de I a III nessas tabelas e compreendeu:

I. o uso efetivo na prática pedagógica;
II. o uso apenas como finalidade investigativa ou complemento à prática de laboratório (experimentação);
III. o uso pontual, como recurso temporário e eventual à abordagem tradicional em sala de aula.

Tabela 2 – Objeto de aprendizagem "Soluções"

Itens do questionário	I Uso efetivo na prática pedagógica (nº de professores)	II Uso para fins investigativos (nº de professores)	III Utilização pontual (nº de professores)
Qualidade do conteúdo	11	1	3
Adequação às expectativas de aprendizagem	15	0	0
Motivação	12	0	3
Interfaces gráficas das telas	10	5	0
Usabilidade (facilidade de utilização)	9	4	2
Suporte ao professor (tutoriais)	13	2	0

Tabela 3 – Objeto de aprendizagem "Os mistérios químicos da chuva ácida"

Itens do questionário	I Uso efetivo na prática pedagógica (nº de professores)	II Uso para fins investigativos (nº de professores)	III Utilização pontual (nº de professores)
Qualidade do conteúdo	13	0	2
Adequação às expectativas de aprendizagem	8	5	2
Motivação	14	1	0
Interfaces gráficas das telas	11	3	1
Usabilidade (facilidade de utilização)	8	0	7
Suporte ao professor (tutoriais)	13	1	1

Análise e categorização

Através da *análise textual* aplicada à interpretação dos enunciados dos professores nos questionários, pudemos perceber alguns aspectos contraditórios com relação às propostas de utilização dos OAs apresentados. No OA "Soluções", por exemplo, 60% dos professores entrevistados opinaram de maneira positiva acerca da facilidade de utilização do mesmo, embora quase a metade (45%) se mostrasse favorável à utilização apenas esporádica desse OA. Na sequência das entrevistas, o que ficou evidente foi o problema do tempo disponibilizado pelas escolas em que lecionam. Há pouco (em alguns casos nenhum) espaço na grade curricular para ativi-

dades que não envolvam aulas "tradicionais" (expositivas e com forte ênfase nos conteúdos). Ainda sobre o OA "Soluções", 33% dos professores tiveram problemas com as interfaces gráficas do aplicativo, ou seja, embora tenham classificado como de fácil utilização, marcaram a opção de uso com finalidade investigativa apenas. De acordo com Ribeiro & Greca (2003), o usuário desse tipo de *software* pode (e deveria) descrever as relações entre os conceitos, aplicar os modelos construídos e comparar os resultados obtidos com o conhecimento que é aceito pela comunidade científica ou com experimentos de laboratório. O problema é que muitos professores também apresentam deficiências formativas quanto à elaboração desses modelos cientificamente aceitos e acabam encontrando grandes dificuldades em generalizar os conceitos quando manipulam o aplicativo. Podemos destacar ainda, no item "suporte ao professor", que 86% dos entrevistados afirmaram que o utilizariam como material didático em suas aulas sobre o tema, visto que o formato e as abordagens, em seus pontos de vista, seriam superiores às do livro didático por eles adotados.

Sobre os dados obtidos no OA "Os mistérios químicos da chuva ácida", os aspectos mais elogiados pelos professores foram a qualidade do conteúdo apresentado e a motivação potencial para o tema que o *software* pode despertar em seus alunos (86% e 93% respectivamente). Como se trata de um assunto cuja abordagem de caráter CTSA é fortemente influenciada por fenômenos relacionados à área química, os participantes destacaram a sua interface como extremamente motivadora, com telas interativas que permitiriam aos estudantes elaborar previsões sobre os impactos socioambientais decorrentes do processo. Ainda sobre esse OA, uma parcela significativa dos entrevistados (quase 47%) destacou a facilidade de uso, mas restringiu-o a um recurso eventual e temporário. Mais uma vez a explicação, presente nos questionários, refere-se a problemas relacionados à pouca familiaridade dos professores com *softwares* de qualquer espécie. Muitos professores destacaram ainda que, no caso desse OA, sua utilização junto aos estudantes impediria, de certa forma, a possibilidade de modelização incorreta, ou seja, o

aluno não teria muitas oportunidades de trabalhar com seus próprios erros, uma questão que é fundamental no processo de aprendizagem. E, de fato, segundo muitos autores (Ribeiro & Greca, 2003; Giordan, 2008; Nascimento & Morgado, 2003; Gabini, 2005), esse problema é bastante comum a todas as simulações. Sobre esse aspecto, Ribeiro & Greca, comentam (2003, p.547):

> [...] As simulações, de forma geral, são programas que, trazendo um modelo pronto subjacente que procura evitar a modelização errada, apresentam informações, passadas de maneira tutorial, através da interação do usuário com o computador. Tal paradigma pedagógico é tido, erroneamente, como construtivista no sentido piagetiano, ou seja, capaz de propiciar a construção do conhecimento na "cabeça" do aluno, sendo, na verdade, um paradigma instrucionista. [...]

Considerações finais

Frequentemente, em situações de ensino, as dificuldades encontradas por alunos na aprendizagem de Química são decorrentes da adoção de estratégias e abordagens equivocadas. A utilização de Objetos de Aprendizagem na introdução/discussão de conceitos químicos surge como uma alternativa atraente para contornar algumas dessas dificuldades. Os OAs apresentados aos professores de Química da rede pública paulista através do programa Teia do Saber tiveram, de acordo com as respostas analisadas nos questionários aplicados, uma excelente avaliação no sentido de propor novas maneiras de trabalhar com os conteúdos *soluções* e *Química Ambiental*. Neste trabalho, foi possível também identificar as diversas possibilidades de utilização desses OAs, observar as posições críticas acerca de suas elaborações, levantar problemas no seu uso em sala de aula e, por fim, fazer observações sobre as dificuldades de interação dos professores com ferramentas baseadas em simulação e animação. Nossa investigação sinaliza, portanto, que o emprego desses OAs

como ferramentas instrucionais de apoio aos professores em sala de aula deve ser necessariamente precedido ao menos pelo domínio e apropriação dos conteúdos e, possivelmente, pela compreensão das expectativas de aprendizagem (habilidades e competências relacionadas) explícitas nas telas dos aplicativos.

Referências bibliográficas

ABREU, M. F., CORDEIRO, R. A., RAPKIEWICZ, CANELA, M. C. Utilizando objetos de aprendizagem no processo de ensino e aprendizagem de Química no ensino médio: o caso dos óxidos e da poluição atmosférica. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 26. Campo Grande (MT), 2006. *Anais...* Campo Grande, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação (MEC), Seed. In: NASCIMENTO, A., MORGADO, E. *Um projeto de colaboração internacional na América Latina*. 2003. Disponível em <http://www.rived.mec.gov.br/site_objeto_lis.php>. Acesso em 13/1/2008.

_____. *Projeto Rived*. 2005. Disponível em <http://rived.proinfo.mec.gov.br/projeto.htm>. Acesso em 15/1/2007.

GABINI, W. S. *Informática e ensino de Química*: investigando a experiência de um grupo de professores. Bauru, 2005. Dissertação (mestrado em Educação para a Ciência) – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de Ciências. *Química Nova na Escola (Belo Horizonte)*, n.10, p.43-9, 1999.

_____. O computador na educação em Ciências: breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização. *Ciência & Educação (Bauru)*, v.11, n.2, p.279-304, 2005.

_____. *Computadores e linguagens nas aulas de Ciências*. Ijuí: Ed. da Unijuí, 2008.

_____, GÓIS, J. Telemática educacional e ensino de Química: considerações em torno do desenvolvimento de um construtor de objetos moleculares. *Revista Latinoamericana de Tecnologia Educativa (Badajoz)*, v.3, n.2, p.41-59, 2005.

MACEDO, L. N. et al. Desenvolvendo o pensamento proporcional com o uso de um objeto de aprendizagem. In: PRATA, C. L., NASCIMENTO, A. C. A. A. (Orgs.). *Objetos de aprendizagem*: uma proposta de recurso pedagógico. Brasília: MEC, Seed, 2007.

MORAES, R., GALIAZZI, M. C. *Análise textual discursiva*. Ijuí: Ed. da Unijuí, 2007.

MORAIS, C. S. L. *Recursos digitais no ensino da Química*: uma experiência no 7º ano de escolaridade. Porto (Portugal), 2006. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

MUZIO, J., HEINS, T., MUNDELL, R. *Experiences with reusable e-Learning Objects*: from theory to practice. Canadá: Victoria, 2001.

NASCIMENTO, A., MORGADO, E. *Um projeto de colaboração internacional na América Latina.* São Paulo: UNESP, 2003. Disponível em <http://www.rived.mec.gov.br/site_objeto_lis.php>. Acesso em 13/1/2008.

PAIVA, J. *As Tecnologias de Informação e Comunicação*: utilização pelos professores. Portugal: Ministério da Educação – Departamento de Avaliação Prospectiva e Planejamento, 2002. Disponível em <http://nautilus.fis.uc.pt/cec/estudo>. Acesso em 17/1/2008.

REIS, C. P. F., FARIA, C. O. Uma apresentação do Rived – Rede Internacional de Educação. In: CONFERÊNCIA INTERAMERICANA DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA – CIAEM, 11. Blumenau (SC), 2003. *Anais*... Blumenau, 2003.

RIBEIRO, A. A., GRECA, I. M. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em Educação Química: uma revisão de literatura publicada. *Química Nova (São Paulo)*, v.26, n.4, p.542-9, 2003.

ROSSI, A. V., TORETTI, G. A. Bons resultados são possíveis no difícil contexto: ensino de Química, informática e escola pública. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v.11, n.1, 2003.

SAMPAIO, M. N., LEITE, L. S. *Alfabetização tecnológica do professor.* Petrópolis: Vozes, 1999.

SÃO PAULO, Secretaria de Estado da Educação. *Projeto Teia do Saber. On-line*. Disponível em <http://www.cenp.edunet.sp.gov.br >. Acesso em 21/5/2007.

SILVA, R. M. G., FERNANDES, M. A., NASCIMENTO, A. C. Objetos de aprendizagem: um recurso estratégico de mudança. In: ZANON, L. B., MALDANER, O. A. (Orgs.). *Fundamentos e propostas de ensino de Química para a educação básica no Brasil.* Ijuí: Ed. da Unijuí, 2007. p.139-55.

SOARES, M. H. F. B., FIORUCCI, A. R., PAULA, L. R., CAVALHEIRO, E. T. G. Uma descrição dos sítios na internet brasileiros dedicados à educação em Química. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE ENSINO DE QUÍMCA, 2. Porto Alegre (RS), 2000. *Anais...* Porto Alegre, 2000. p.91.

SOUZA, A. R. de, YONEZAWA, W. M., SILVA, P. M. Desenvolvimento de habilidades em Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) por meio de objetos de aprendizagem. In: PRATA, C. L., NASCIMENTO, A. C. A. A. (Orgs.). *Objetos de aprendizagem*: uma proposta de recurso pedagógico. Brasília: MEC, Seed, 2007.

WERTSCH, J. V. *Voices of the mind.* Cambridge, MA.: Harvard University Press, 1991.

_____. *Mind as action.* Nova York: Oxford University Press, 1998.

WILEY, D. A. *Connecting learning objects to instructional design theory*: a definition, a metaphor, and a taxonomy. 2001. Disponível em <http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>. Acesso em 20/3/2007.

8

As obras de Química do Programa Nacional do Livro Didático para o ensino médio: uma análise da História da Ciência através do conceito de substância

Leandro Henrique Wesolowski Tavares[1]
Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani[2]

Introdução

O Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) surgiu a partir da Resolução nº 38, de 15 de outubro de 2003, levando em consideração: os propósitos de progressiva extensão da obrigatoriedade e gratuidade ao Ensino Médio (art. 208, inciso II, da Constituição Federal); o livro didático como um recurso básico para o aluno no processo de ensino-aprendizagem; e a

1. Mestre em Educação para a Ciência pela UNESP/Bauru – 2010. Docente na Universidade Metodista de Piracicaba e membro do Núcleo de Educação em Ciências (NEC) dessa instituição.
2. Doutora em Educação pela UFSCAR/São Carlos – 2006. Docente do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência – UNESP/Bauru.

importância de os professores serem os agentes responsáveis pela escolha do livro didático que trabalharão (Brasil, 2003).

As obras de Química, área de nossa formação e interesse, foram enviadas pelas editoras e submetidas, em 2007, a várias etapas de análise por uma equipe de especialistas da área de Química de universidades públicas. Assim, essas obras passaram por verificações de ordem técnica (como formato, matéria-prima e acabamento) e avaliações dos aspectos conceituais, metodológicos e éticos. Nesse processo de análise, as obras foram confrontadas com fichas avaliativas de caráter eliminatório e classificatório, sendo selecionados os materiais que apresentaram condições/características satisfatórias para serem incorporados ao trabalho pedagógico dos professores (Brasil, 2007).

Como resultado, foi elaborado o *Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio* (Brasil, 2007), apresentando as obras qualificadas como adequadas ao trabalho docente. Essas obras devem acompanhar o docente durante três anos (2008-2010), servindo como um recurso didático na busca por caminhos possíveis para sua ação pedagógica.

No catálogo podemos encontrar resenhas sobre os livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM, bem como as fichas de avaliação de caráter eliminatório (15 critérios) e classificatório (44 critérios) que orientaram os especialistas no processo de análise das obras.

Entre os eixos orientadores dessas fichas de avaliação, podemos notar a preocupação quanto à apresentação da construção da Ciência nos livros didáticos. Nos critérios eliminatórios buscou-se examinar se: a Ciência é apresentada como única forma de conhecimento; o conhecimento científico é tratado como verdade absoluta; a Ciência é apresentada como neutra; os conceitos são apresentados de forma compartimentada e linear (critérios 7, 8 e 11). Na mesma linha, alguns critérios classificatórios buscam examinar se os livros didáticos: apresentam a Química como processo de produção cultural, valorizando a História e a Filosofia das Ciências; trabalham a História da Ciência na construção dos conceitos,

evitando resumi-la à biografia dos cientistas (critérios 31 e 32) (Brasil, 2007).

Ao considerar essas questões, entendemos que os critérios histórico-epistemológicos de análise do PNLEM são de grande importância. Mas, apesar de existirem critérios eliminatórios e classificatórios quanto à natureza da Ciência, verificamos que esse aspecto é relatado, muitas vezes, de forma vaga nas breves resenhas de alguns livros do catálogo. Dessa forma, analisamos *como* essas obras de Química apresentam a História da Ciência. Nesse contexto, surgem duas questões de pesquisa derivadas e complementares:

a) Quais tipos de abordagem histórico-epistemológica são encontrados nas obras aprovadas pelo PNLEM de Química?
b) Com que frequência esses aspectos histórico-epistemológicos são abordados?

No intuito de responder a essas questões e alcançar uma compreensão mais precisa sobre como a natureza da Ciência é explorada nas obras, analisaremos o conceito de substância química, uma vez que esse conceito, além de revelar uma riqueza histórica, epistemológica e cultural, é ponto de partida para a (re)construção e compreensão dos conteúdos e conceitos químicos presentes nos currículos escolares (como elemento químico, tabela periódica, transformações químicas, ligações químicas, etc.) (Silveira, 2003).

A amostra de livros do PNLEM

Os livros didáticos de Química analisados (ver Quadro 1) são obras do interesse dos educadores brasileiros, uma vez que pertencem ao *Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio* (PNLEM/2008: Química). Nesse sentido, o Ministério da Educação, por meio da Secretaria de Educação Básica (SEB), e em parceria com o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), disponibiliza, para o professor de Química, um livro

didático, dentre seis que foram avaliados e aprovados por professores/pesquisadores da área.

Quadro 1 – Livros didáticos do *Catálogo do PNLEM*/2008: Química

Código	Livros Didáticos
a	SANTOS, W. L. P. & MÓL, G. S. (Coords.). *Química e sociedade*. Ed. Nova Geração, 2005.
b	BIANCHI, J. C. A., ABRECHT, C. H. & MAIA, D. J. *Universo da Química*. Editora FTD S/A, 2005.
c	NÓBREGA, O. S., SILVA, E. R. & SILVA, R. H. *Química*. Ed. Ática, 2005.
d	CANTO, E. L. & PERUZZO, F. M. *Química na abordagem do cotidiano*. v.1, 2 e 3. Ed. Moderna, 2005.
e	MORTIMER, E. F. & MACHADO, A. H. *Química para o ensino médio*. Ed. Scipione, 2005.
f	FELTRE, R. *Química*. v.1, 2 e 3. Ed. Moderna, 2005.

A análise das obras do PNLEM

Para entendermos como a História da Ciência é apresentada nas obras de Química, no que se refere ao conceito de substância, construímos um instrumento de análise (Tabela 1) fundamentado nos próprios critérios de análise usados no *Catálogo do PNLEM*, nas categorias de análise histórica usadas na pesquisa de Carvalho (2007) e, baseados no instrumento usado por Amaral e colaboradores (2006) para avaliarem coleções didáticas de Ciências de 5ª a 8ª séries do ensino fundamental, adaptamos e incorporamos indicadores de análise que explicitam a frequência com que cada categoria é explorada nas obras. Assim, nosso instrumento pretende delimitar quais tipos de abordagem histórica são encontrados em cada obra e também a intensidade com que são explorados.

Quadro 2 – Frequência com que os aspectos históricos são explorados nas obras

Níveis de frequência	
1 – aparece infimamente;	4 – permeia a maior parte da obra;
2 – discutido em poucos momentos;	5 – encontra-se ao longo de toda obra;
3 – aparece em parte considerável da obra;	traço (–) – ausente no livro

A Tabela 1 revela nossas categorias de análise, os livros analisados (a, b, c, d, e, f) e a respectiva frequência encontrada para cada didático.

Tabela 1 – Categorias de análise e os respectivos resultados obtidos com as obras de Química

Categorias	Descrição	Livros analisados*					
		a	b	c	d	e	f
Construção da Ciência	– Procura evitar uma abordagem linear e cumulativa sobre o processo de desenvolvimento da Química.	3	–	2	2	1	1
	– Revela o papel das influências econômico-político-sociais no processo de construção dos princípios químicos.	2	2	1	1	1	1
Personagens da Ciência	– Evita apresentar somente o trabalho dos cientistas mais consagrados.	4	3	3	2	3	2
	– Revela a interação entre pessoas e equipes científicas no desenvolvimento da Química.	3	1	1	2	2	2
	– Evita apresentar aspectos histórico-epistemológicos exclusivamente via quadros biográficos de cientistas.	4	2	4	4	4	2

* a) Santos & Mól (2005); b) Bianchi, Abrecht & Maia (2005); c) Nóbrega, Silva & Silva (2007); d) Canto & Peruzzo (2003); e) Mortimer & Machado (2002); f) Feltre (2004).

Análise do livro *Química e sociedade*, de Santos & Mól (Coords.)

Nessa obra verificamos que a temática substância é a *espinha dorsal* no desdobramento dos demais conceitos. Dos 26 capítulos existentes, totalizando 731 páginas, nossa análise se estendeu até o sétimo capítulo que aborda a classificação dos elementos químicos (p.8-189). Detalhamos a seguir os dados obtidos para cada uma das nossas categorias.

Construção da Ciência

Os autores resgatam algumas rupturas e transições importantes para o estabelecimento da Química Moderna. No início do primeiro capítulo lembram o conhecimento de civilizações pré-históricas e culturas antigas em vários campos, sempre de caráter prático, "como técnicas primitivas de transformação de materiais, as quais muitas vezes eram executadas como rituais religiosos ou de magia" (p.14).

A junção de técnicas antigas e a incorporação de diferentes conhecimentos resultaram na alquimia, um movimento presente em várias culturas que buscou a pedra filosofal e o elixir de longa vida (p.14-5). Sobre esses episódios, os autores lembram que o conhecimento alquímico, assim como a religião, era baseado em dogmas, portanto não precisava ser discutido. "Com o Renascimento, no século XVI, essa maneira de pensar foi mudando e uma nova forma de buscar o conhecimento surgiu: a *ciência experimental moderna*" (p.15).

Nessa transição surgem trabalhos inovadores, como os de Paracelso na medicina, as técnicas experimentais de Boyle e a teoria do flogisto de Stahl para explicar os processos de combustão e calcinação (oxidação), mas com limitações para explicar outros fenômenos (p.15). Mas, diante das limitações da teoria do flogisto, os autores discutem a superioridade das explicações de Lavoisier

sobre a combustão, baseada em experiências com balanças de alta precisão e, assim, esse químico foi responsável por "estabelecer um novo método de investigação que caracterizou o nascimento da Química como Ciência experimental" (p.16).

Essa abordagem é interessante ao mostrar a existência de diferentes cenários epistemológicos, fundamentados em perspectivas teórico-metodológicas divergentes e incompatíveis. Assim, nesse novo momento histórico, os "iluministas defendiam novas formas de compreender o Universo, por novos métodos, como os usados por Lavoisier" (p.17).

Outra transição é retomada mais à frente com as concepções, existentes ainda no século XVII, sobre a teoria dos quatro elementos de Aristóteles. Há também o resgate das ideias de átomo de Demócrito e Leucipo, do século V a.C. Contudo, a obra revela que a teoria atômica só foi aceita pela comunidade científica no século XIX, com os trabalhos de Dalton (p.67).

Essa longa transição é aprofundada em outro momento, quando os autores apresentam a busca pela compreensão da natureza por meio dos elementos essenciais com Tales de Mileto, Anaxímenes, Heráclito e Empédocles e a construção da teoria dos quatro elementos por Aristóteles, apoiado nos trabalhos de Empédocles (p.138).

Os trabalhos de Demócrito, Leucipo e Stahl também são resgatados, mas estes foram desconsiderados com os estudos empreendidos por Dalton e Lavoisier (p.139). Nesse caminhar de mudanças, os autores exploram o desenvolvimento dos estudos microscópicos da matéria, principalmente com Thomson (p.141-2), o casal Curie (p.142-3), Rutherford e seus colaboradores (p.144-6) e Bohr (p.154-7). Somando-se a esses casos, revelam outros conhecimentos provisórios na Ciência, como os diferentes nomes, simbologias e formas de classificação das substâncias (p.175-9).

Com relação a essa categoria, gostaríamos de fazer uma ressalva. Ao discutirem a teoria do *Big Bang*, na página 172, os autores também poderiam discutir outras teorias sobre a origem do universo, inclusive as de caráter religioso, mostrando a existência de

concepções divergentes, construídas e consolidadas em diferentes cenários históricos.

Em relação às influências econômico-político-sociais, os autores pouco discutem como esses fatores fizeram/fazem parte da Ciência, como no trecho a seguir:

> E a Revolução Industrial fez com que muitas pesquisas científicas fossem financiadas para desenvolver novas tecnologias. Isso contribuiu para que uma comunidade de pesquisadores começasse a adotar uma série de atitudes que caracterizaram o trabalho científico. (p.17)

Ou como neste parágrafo: "A Ciência avança em função das necessidades geradas pela sociedade. Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas na tentativa de solucionar problemas sociais, como a aids, a desnutrição, a falta de energia, a poluição, etc." (p.22). Apesar de essas frases revelarem como os aspectos sociais podem mobilizar o avanço no conhecimento científico, não há uma explicitação de quem desenvolve ou financia essas pesquisas, provavelmente pela ampla faixa de questões apresentadas, como no campo da saúde, dos recursos energéticos/econômicos, tomando um caráter geral, sem nenhuma contextualização. Em outro trecho:

> A identificação e a síntese de átomos de novos elementos têm sido marcadas por disputas entre diversos institutos de pesquisa, afinal, a ciência é uma atividade humana e envolve conflitos de interesse. O reconhecimento de descobertas científicas propicia, entre outras coisas, apoio financeiro aos centros de pesquisa envolvidos. E não se faz ciência sem dinheiro. (p.174)

Como podemos perceber, esses fatores externos à Ciência são discutidos. Mas encontramos uma relação com o conceito de substância apenas nessa última citação, apresentando os investimentos financeiros para estudos com elementos artificiais sintetizados no laboratório.

Personagens da Ciência

Essa obra apresenta, além dos cientistas considerados "celebridades", cientistas e filósofos naturais não tão famosos, como Tales de Mileto, Anaxímenes, Empédocles, Leucipo, Demócrito, Paracelso, Stahl, Joseph Black, Scheele, Priestley, Ernest Solvoy, Jacques Alexandre César Charles, Schönbein, Andrews, Mário Molina, F. Rowland, Stoney, Röntgen, Geiger, Marsden, Chadwick, Powell, Occhialini, Moseley, Kirchhoff, Bunsen, Ramsay, P. T. Clever, N. A. Langlet, Kurchatov, entre outros. Essa possibilidade de exploração torna-se interessante ao mostrar que há contribuições de vários estudiosos e pesquisadores para o desenvolvimento da Ciência.

Esse livro resgata alguns episódios em que houve a presença de dois ou mais cientistas na construção do conceito de substância. Num patamar próximo, mas não igual, das pesquisas coletivas, encontramos o estudo das propriedades dos gases pelo francês Jacques Alexandre César e completada mais tarde com as pesquisas de Joseph Louis Gay Lussac, relativas à proporcionalidade entre a temperatura e a velocidade das moléculas de um gás (p.124).

Ainda nessa linha de raciocínio, os autores descrevem a elaboração da teoria de Lavoisier a partir da reinterpretação dos dados obtidos por outros cientistas, como Scheele e Priestley. Nesse panorama, também encontramos Thomson, que construiu seu modelo atômico apoiado nos resultados obtidos por Crookes.

Uma parte mais clara na obra quanto ao trabalho cooperativo no processo de desenvolvimento científico discute os avanços relativos à radioatividade com o casal Curie (p.142) e a elaboração do modelo atômico de Rutherford, possível com a cooperação de seu aluno de doutorado Geiger e o professor inglês Marsden. Há também menção à descoberta da partícula *méson* π por uma equipe de três físicos em 1947: "o brasileiro Cesare Mansueto Giulio Lattes (César Lattes), o inglês Cecil Frank Powell (1903-1969) e o italiano Giuseppe Occhialini (1907-1993)" (p.150).

De forma genérica, os autores fazem referência à teoria do físico ucraniano George Gamow e seus colaboradores sobre o que acon-

teceu após o *Big Bang* (p.172). Além da apresentação das descobertas simultâneas de alguns elementos químicos por cientistas de diferentes lugares,

> [...] como o hélio – descoberto em 1895 por Willian Ramsay, na Inglaterra, e por P. T. Clever e N. A. Langlet, na Suíça – e a do protactínio, descoberto em 1917 por Otto Hahn e Lise Meitner, em Berlim, na Alemanha; K. Fajans, em Karlsruhe, também Alemanha; e por F. Soddy, J. A. Cranston e A. Fleck, na Escócia (p.174).

Não são muitos os episódios que resgatam a produção coletiva de conhecimentos, mas são momentos essenciais para realçar que o cientista não desenvolve suas pesquisas de forma solitária no laboratório – gênio isolado em sua torre de marfim –, concepção predominante nos alunos do ensino médio participantes da pesquisa de Kosminsky & Giordan (2002).

Outra subcategoria a discutir está relacionada à forma de trabalhar a História da Ciência. Nesse caso, os autores se preocuparam em trabalhá-la no transcorrer da abordagem conceitual, em vez de destacarem breves quadros biográficos dos cientistas em evidência nos capítulos da obra. Esses quadros, quando existentes, apenas servem para ilustrar/complementar alguma informação ligada ao texto principal que, por sua vez, já desenvolve uma abordagem histórica.

Análise do livro *Universo da Química*, de Bianchi, Abrecht & Maia

Este livro contempla 16 capítulos distribuídos ao longo de 665 páginas. Nossa análise se restringiu até o quinto capítulo, "Modelos atômicos" (p.167), já que a obra não trabalha diretamente a tabela periódica, e revelou algumas características históricas interessantes.

Construção da Ciência

Em vários momentos, os autores deixam claro que a Química está em contínua construção. A noção de átomo é um dos principais pontos explorados, mostrando que suas origens remontam à Antiguidade, com os trabalhos de Demócrito e Epicuro, e perpassam estudos mais recentes com Dalton. Contudo, esse trabalho histórico acontece segundo uma abordagem linear e cumulativa. Os próprios autores apresentam uma linha do tempo para mostrar a evolução das ideias de átomo e substância de Demócrito a Dalton (p.19), como se fosse uma reta contínua, sem debates, conflitos e transições teórico-metodológicas nesse processo.

Essa abordagem, caracterizada por uma visão linear da construção da Ciência, é retomada ao longo dos capítulos seguintes (p.78-9), passando a ideia de que a Química foi progredindo por um avanço contínuo ao fazer uso de letras para simbolizar os elementos químicos com Berzelius (p.80), estudar e reconhecer as partículas que compõem o átomo (p.83-5), descobrir a existência de elementos radioativos (p.92-3) e, finalmente, ao discutir o modelo atômico de Bohr (p.161), reforçando a mensagem de linearidade, como no trecho a seguir: "Nesse progressivo avanço do modelo atômico, percebeu-se que as explicações sobre a constituição da matéria evoluíram na medida em que novas observações foram propostas em relação aos fenômenos observados. Esse processo é contínuo" (p.161).

Em outras oportunidades há maior ênfase nos acertos e erros na Ciência, principalmente ao apontarem as antigas concepções que entendiam o calor como fluido capaz de ser transferido de um corpo para outro (p.46, 47, 50), a representação da água como HO por Dalton (p.20, 80, 123, 128, 131) e os antigos símbolos usados para representar as substâncias (p.80).

Contudo, essa obra carece de maiores discussões sobre as grandes rupturas encontradas na História da Química. Debates ligados à teoria dos quatro elementos (p.24) ou à alquimia (p.96, 117) aparecem em notas laterais e não exploram as transições que essa teoria

e esse movimento alquímico sofreram com o tempo. Da mesma forma, a apresentação de Lavoisier (p.125), via nota lateral, não revela a importância de seus trabalhos e de seus contemporâneos para algumas rupturas no século XVIII. Assim, essa obra denota exclusivamente a linearidade e a cumulatividade no processo de construção dos princípios químicos, devendo ser uma abordagem a ser repensada pelos autores para evitar possíveis compreensões discentes equivocadas sobre o processo de desenvolvimento da Ciência.

A subcategoria relacionada às influências econômico-político-sociais merece algumas considerações. A estrutura conceitual da obra, até o capítulo de modelos atômicos, já que não aborda diretamente a tabela periódica, demonstra a presença de vários conteúdos e conceitos que, normalmente, não fazem parte das sequências dos livros de Química. Assim, encontramos tópicos como pressão atmosférica, barômetro de Torricelli, princípio de conservação da energia, aspectos quantitativos da energia, unidade de trabalho, conceito de potência, produção e consumo de energia, radioatividade, reações nucleares, energia nuclear, nucleossíntese, nucleossíntese cosmológica, evolução estelar, quantidade de matéria e a sua unidade (o mol), o número $6{,}0 \times 10^{23}$ (constante de Avogadro).

Dentro desse extenso universo conceitual encontramos determinados episódios que retratam essas influências nos rumos do desenvolvimento científico. Assim, há o relato do desenvolvimento da máquina a vapor em 1784 por James Watt, "cujos princípios físicos só seriam esclarecidos em 1820 pelo francês Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832)" (p.47). Em seguida, o texto continua o raciocínio sobre o impacto dessas máquinas na Revolução Industrial e na busca por lucros cada vez maiores:

> Naturalmente, os industriais desejavam o maior rendimento possível das máquinas, e para tanto seria necessário calcular quanto de energia estava sendo consumida no processo de produção.
>
> Não demorou muito e o ser humano descobriu como efetuar esses cálculos, bem como formas alternativas de obtenção de calor. Hoje, sabe-se que o calor comporta-se como energia em trânsito

> que se manifesta entre dois corpos com temperaturas diferentes. (p.47)

Apesar de fazerem referências externalistas,[3] os autores poderiam repensar o sujeito da oração "o ser humano", sendo genérico, sem identificação do(s) pesquisador(es) que estudou(aram) os aspectos quantitativos da produção e do consumo de energia daquelas máquinas.

Em outro episódio mais à frente também aparece essa subcategoria, com um quadro evolutivo do Sistema Elétrico Brasileiro (1910-1995). Nesse quadro, as últimas décadas, pós-1970, revelam um aumento no potencial elétrico, devido à crise do petróleo.

> Essa evolução induziu o desenvolvimento da tecnologia nacional nos campos da engenharia de centrais hidrelétricas, das indústrias de material elétrico e componentes mecânicos e da pesquisa em eletrotécnica e eletrônica de instrumentação e controle, dentre muitos outros. (p.67)

Um terceiro momento destaca os altos investimentos da Universidade, no início dos anos 1940, em projetos laboratoriais para a síntese de novos elementos químicos (elementos artificiais) (p.107). Em seguida, a obra descreve o interesse dos países imersos na Segunda Guerra Mundial em gerar uma arma com grande poder de destruição, surgindo o projeto Manhattan, responsável pela fabricação da bomba atômica (p.108-9).

Como podemos notar, as influências externalistas aparecem nesse livro, mesmo que em poucos episódios e de forma superficial. Entre esses episódios, apenas um dos momentos resgatados está re-

---

3. Segundo Martins (2005), a abordagem externalista busca estudar, entender e explicar a Ciência com base nos aspectos externos, não conceituais (como as influências político-econômico-sociais, a luta pelo poder, os fatores psicológicos). De outro viés, a abordagem internalista da História da Ciência considera os aspectos conceituais ao estudar algum assunto, concentrando-se nos fatores científicos (evidências, fatos de natureza científica).

lacionado com o conceito de substância ao lembrar as pesquisas com elementos artificiais.

Personagens da Ciência

Essa obra também apresenta pessoas que não são "famosas", mas que contribuíram para a construção da Ciência. Cita Demócrito, Leucipo, Epicuro, Mendeleev, Joseph Black, Cavendish, Scheele, Priestley, Daniel Rutherford, Stoney, Geiger, Marsden, Chadwick, Nagaoka, Wolfgang Pauli, Soddy, Enrico Fermi, Edwin Hubble, T. W. Richards, Stas, Döbereiner, Libby, Gamow, Dumas, Charles Bury, entre outro(a)s que participaram na construção da Ciência. Mas trabalhos como os de Black, Cavendish, Scheele e Priestley, juntamente com os de Lavoisier, poderiam ser mais explorados, evitando a rápida e superficial abordagem feita na obra, uma vez que essas pessoas foram decisivas para a passagem do movimento alquímico à Química enquanto Ciência (Tosi, 1989; Filgueiras, 2002).

A subcategoria referente aos avanços científicos por grupos de cientistas revela que a obra apresenta poucos exemplos da evolução da Química por trabalhos coletivos. Entre esses, encontramos Rutherford, Geiger e Marsden no estudo das partículas (p.84-5). Há também um quadro biográfico (p.92) sobre os estudos com elementos radioativos pelo casal Curie.

Em outra nota biográfica lateral, os autores alertam que Rutherford e Soddy perceberam que os átomos de tório produziam átomos de outro elemento. "Os novos átomos foram denominados átomos de tório X e o processo foi associado à radioatividade" (p.96). Há, mais à frente, destaque ao estudo das fórmulas das substâncias no século XIX com base nas concepções de Dalton, Gay-Lussac e Avogadro (p.128-30).

Encontramos, numa terceira nota biográfica lateral, o relato de que Gay-Lussac, em colaboração com outros cientistas, mas não menciona quais, "descobriu que o cloro e o iodo são substâncias simples" (p.129). Assim, a maior parte dos trabalhos coletivos são

limitados a quadros biográficos. Esse recurso deveria ser usado em poucos momentos para indicar curtas informações, e não ser usado em excesso, concentrando muitos dos aspectos históricos.

É sobre essa análise que entramos na terceira subcategoria para alertar que os autores trabalham, em meio ao texto principal, conteúdos e conceitos sob um viés histórico. Mas também exploram excessivamente o uso de caixas de textos (notas laterais) para destacar aspectos históricos referentes aos temas abordados. Dessa forma, os autores poderiam reduzir, para futuras edições desse livro didático, a quantidade desses *boxes*, uma vez que são encontrados na maior parte das páginas analisadas.

Análise do livro *Química*, de Nóbrega, Silva & Silva

Essa obra de 2007 contém 569 páginas divididas em 33 capítulos. Nossa análise se limitou até o décimo capítulo por abordar a tabela periódica, abrangendo 186 páginas do livro.

Construção da Ciência

Os autores revelam várias rupturas que existiram até a formação e consolidação da área de estudos e pesquisas que conhecemos hoje como Química. Nesse sentido, há o relato do abandono dos mitos e dogmas por estudiosos da Jônia que buscavam, no século VI a.C., a compreensão dos fenômenos que eram até então explicados por forças divinas, surgindo diferentes concepções ligadas a elementos fundamentais e à escola atomística (p.12).

As contribuições de Aristóteles a essas formas de pensar também são apresentadas na obra, sobretudo a relevância da teoria dos quatro elementos para as bases do movimento alquímico (p.12-3). Em seguida, há o destaque aos trabalhos dos séculos XVI e XVII, principalmente pela ligação com o campo da medicina, surgindo a figura de Paracelso, contrário à teoria de Aristóteles ao propor a

existência de três princípios (sal, enxofre e mercúrio) para entender e explicar a matéria (p.14).

O livro também resgata a forma de entender o mundo no século XVII, baseada na interpretação quantitativa e mecanicista (p.15-6) e lembra que essas diferentes concepções são devidas à preocupação humana quanto à descrição e à previsão do comportamento da natureza.

Mais à frente, os autores mencionam a aceitação da teoria do flogístico de Stahl para a explicação da combustão no século XVIII. Mas também alertam para as limitações dessa teoria para explicar a variação do peso (diminuição/aumento) após o processo de combustão/oxidação. Como consequência desses impasses, a obra discute os trabalhos de Lavoisier, sem revelar as contribuições de seus contemporâneos, para o abandono da teoria flogística e da teoria dos quatro elementos (p.104-6).

Esses são os momentos de discussão histórica com caráter não cumulativo. Nesse sentido, os autores poderiam explorar com mais frequência, em outros capítulos, essa abordagem. Outros momentos também revelam uma perspectiva histórica, como a concepção da composição das substâncias antes de Proust (p.116), a representação das substâncias (p.122-3), os modelos atômicos de Thomson e Rutherford (p.149-50) e os sistemas de classificação dos elementos químicos em notas laterais (p.175-6, 178), mas essas passagens acontecem de forma superficial e linear, passando uma ideia simplificada sobre esses episódios históricos.

Assim, em apenas dois momentos encontramos discussões mais focadas sobre a parte histórica, no início ao resgatar as origens e mudanças dos estudos sobre a natureza (Capítulo 1 – Da alquimia à Química), uma ação que é usual na maioria dos didáticos e as contribuições de Lavoisier para a Química (Capítulo 6 – Relações entre as massas nas reações químicas), episódio histórico encontrado em qualquer obra. Como essas trajetórias históricas são resgatadas de forma interessante em alguns momentos, acreditamos que essa abordagem poderia fazer parte dos demais capítulos, enal-

tecendo uma visão mais rica, complexa e completa da natureza da Ciência.

A segunda subcategoria, relacionada às influências econômico-político-sociais, praticamente ficou fora da obra, exceto pelo seguinte trecho:

> Em meados do século VI a.C., uma nova percepção do mundo se cristalizou entre pensadores das colônias gregas da Jônia. Mitos e dogmas religiosos foram postos de lado, em um primeiro esforço de compreensão da realidade. Para a vida ou a morte, a guerra ou as doenças, a colheita ou as inundações, exigiu-se outra explicação além do capricho dos deuses. Começou a nascer a Filosofia ocidental. O desenvolvimento político e social das cidades e a ideia de uma força superior aos deuses conduziram à busca de leis que explicassem as forças naturais. (p.12).

Como podemos notar, a contextualização de aspectos políticos e sociais e suas influências para o nascimento e desenvolvimento de uma nova forma de pensar e explicar os fenômenos naturais fica num patamar superficial. E, como os aspectos externos estão presentes em um único momento, dificilmente serão notados e compreendidos pelos alunos como fatores determinantes no rumo da Ciência.

Personagens da Ciência

Além de estudiosos da Ciência/Química amplamente reconhecidos, há também a apresentação de outros personagens históricos que foram importantes, como Tales de Mileto, Anaxímenes, Empédocles, Leucipo, Demócrito, Zózimo, Paracelso, Satyendra Bose, Grenouille, Stahl, Stas, Henning Brand, Berthollet, Guyton de Morveau, Fourcroy, Mendeleev, Döbereiner, Newlands e pesquisadores brasileiros do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) – René Medrano, José Marques da Costa, Alberto Setzer, Enio Bueno Pereira, Volker Kirchhoff, Liliana Piazza.

No tocante ao trabalho em equipes, os autores mencionam os projetos e estudos desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) na Estação Antártica Comandante Ferraz. Assim revelam que existem

> [...] estudos da ionosfera, de René Medrano, existem pesquisas em geomagnetismo, coordenadas por José Marques da Costa. Alberto Setzer cuida da meteorologia. Enio Bueno Pereira estuda a radioatividade atmosférica e aerossóis (partículas suspensas no ar). Volker Kirchhoff é responsável pelo estudo do ozônio atmosférico e componentes minoritários da atmosfera, Liliana Piazza pesquisa a propagação de ondas de rádio VLF (frequência muito baixa). (p.26)

Apesar de esse trecho não discutir a formação de grupos específicos, revela que um conjunto de pesquisadores está reunido na Estação Antártica para estudar e pesquisar esse ambiente.

Em outra oportunidade, via nota lateral (p.33), os autores descrevem a previsão, em 1924, do quinto estado da matéria pelo físico alemão Albert Einstein e pelo matemático indiano Satyendra Nath Bose, sendo comprovada só mais tarde, em 1995, com trabalhos laboratoriais.

A terceira e última apresentação do trabalho cooperativo revela a criação do elemento químico de número 111 por pesquisadores da Associação para a Investigação de Íons Pesados (GSI) (p.166). Essa frase revela alguns problemas, como a não identificação dos pesquisadores envolvidos. Além desse fato, não sabemos se o número 111 faz alusão ao número atômico (de prótons) característico desse elemento. Essa discussão apresentada pelo livro didático faz parte da adaptação de um texto da *Folha de S. Paulo* de 1994, podendo ser uma das razões para essas limitações e falhas.

A existência de equipes é uma questão a ser repensada pelos autores, uma vez que nem os pesquisadores que fizeram parte da construção do modelo atômico de Rutherford, Geiger e Mardsen, foram mencionados. Os contemporâneos de Lavoisier também não

são lembrados na obra, apesar de suas influências sobre os estudos desenvolvidos por esse francês.

A leitura da obra revela que a terceira subcategoria, referente à abordagem histórica, quando existente, acontece em meio ao texto principal, com poucos momentos em que as caixas de textos são as responsáveis pela abordagem histórica.

Análise do livro *Química na abordagem do cotidiano*, de Canto & Peruzzo

Essa obra, apesar de editada em 2003, e não em 2005, já tem o carimbo do PNLEM na capa. Acreditamos que, talvez, os pareceristas tenham se enganado no momento de registrar os dados dos livros aceitos no processo de análise; ou a editora tenha se equivocado durante a catalogação desse didático.

O livro está dividido em três volumes. Ao considerar nossa pesquisa, nos concentraremos na análise do volume 1, que reúne 15 capítulos distribuídos em 325 páginas. Nossa análise ocorreu até o sexto capítulo, "A tabela periódica dos elementos", totalizando 113 páginas.

Construção da Ciência

No início, essa obra discute as mudanças que ocorreram no conhecimento científico e químico, principalmente com a estrutura atômica da matéria, ao revelar os diferentes modelos que representam a ideia sobre o átomo: os estudos e contribuições dos filósofos da Grécia Antiga (p.7), Dalton (p.52), Thompson (p.65), Rutherford (p.66-7), Bohr (p.76) e Heisenberg (p.79).

Nessa perspectiva, encontramos os diferentes sistemas de organização dos elementos químicos, sobretudo com os trabalhos de Döbereiner (p.88-9), Chancourtois (p.89), Newlands (p.89), Mendeleev (p.89-90) e Meyer (p.90).

Uma terceira abordagem, tomada ao longo da obra, apresenta mais satisfatoriamente a transição não linear de conhecimentos na Química. Há uma discussão sobre a concepção dos quatro elementos de Aristóteles (p.7, 46), algumas perspectivas alquímicas, com um caráter mais prático (p.7-8), as concepções de Boyle em seu livro *The sceptical chemist*, creditando méritos ao método experimental no estudo das substâncias (p.8, 46) e o estudo de Lavoisier no século XVIII, com a lei da conservação da massa (p.46-7).

As transições de ideias que envolvem a Grécia Antiga, o movimento alquímico e as atuais bases da Ciência Moderna são questões existentes na obra, mas poderiam ser mais bem exploradas pelos autores. Apesar de serem mencionadas, são tomadas de forma pontual e superficial.

Acreditamos que esses momentos históricos são complexos para serem tratados de forma simplificada, pois podem gerar visões deformadas sobre o processo de desenvolvimento dessa Ciência. Como nos lembram Solbes & Traver (1996, p.105, tradução nossa), o trabalho com uma história limitada pode gerar uma visão cumulativa do conhecimento, "não se mostram as crises dos grandes paradigmas, nem os problemas nas teorias incluídas em tais paradigmas, que produzem a mudança de conceitos, modelos, etc.".

Uma oportunidade para explorar mais a parte histórica encontra-se na discussão sobre a ideia de átomo pelos filósofos gregos, concepção construída por meio de argumentos filosóficos, como partículas pequenas e indivisíveis. Em seguida, os autores enaltecem o avanço do modelo atômico de Dalton por sua fundamentação estar apoiada em resultados experimentais.

Nesse caso, o panorama histórico de rupturas e transições acontece de forma sucinta, sem esclarecer os diferentes cenários epistemológicos existentes. Acreditamos que os diferentes sistemas teórico-metodológicos de cada cenário histórico (argumentos filosóficos/método) poderiam ser mais bem discutidos para proporcionar, além da contextualização histórica, a compreensão das implicações geradas pela transição desses momentos, possibilitando maior conhecimento e fidedignidade desse campo de estudos.

Com relação aos aspectos econômico-político-sociais, encontramos o seguinte trecho:

> Após Aristóteles, a Grécia passou por um agitado período político e, gradualmente, a cidade egípcia de Alexandria assumiu a liderança científica da época. Lá, encontraram-se frente a frente a filosofia grega, a tecnologia egípcia e as místicas religiões orientais. (p.7)

Podemos notar na primeira parte desse parágrafo um destaque às questões políticas para o declínio da Grécia e, posteriormente, a ascensão científica da cidade de Alexandria. Mas a obra não revela aspectos desse "agitado período político", sendo interessante a reformulação desse trecho futuramente, já que a apresentação desse contexto pode revelar como ações políticas fazem parte das cidades e de suas atividades científicas.

O parágrafo seguinte a essa citação aponta o nascimento da alquimia, que buscava o elixir da longa vida (responsável pela imortalidade) e a pedra filosofal (permitiria a transmutação dos metais comuns em ouro), e destaca que a busca pelo ouro era devido à sua resistência à corrosão, característica vislumbrada como a perfeição divina. Mas, nesse contexto, também existiam as pessoas que tentavam imitar o processo de transmutação para enriquecer (p.8).

O último momento encontrado, relativo aos aspectos externalistas da Ciência, aborda as disputas entre grupos de cientistas pela síntese de novos elementos artificiais:

> Às vezes, diferentes grupos de cientistas disputam o mérito da produção de determinado elemento artificial e o direito de escolher seu nome e símbolo. Para resolver um conflito desse tipo, a União Internacional de Química Pura e Aplicada (Iupac) cria uma comissão que analisa os dados científicos dos experimentos realizados pelos grupos envolvidos e, com base nessa análise, estabelece se a síntese realmente ocorreu e de que grupo é o mérito tê-la conseguido primeiramente. A comissão também se encarrega de propor o nome

> para o novo elemento, dando especial atenção à sugestão de quem o sintetizou primeiro. (p.99)

Diferente das outras obras do PNLEM que discutem os investimentos financeiros para a síntese de novos elementos artificiais, essa obra revela as disputas políticas envolvidas nesse campo, sendo um aspecto interessante. Mas os fatores externos à Ciência poderiam (e deveriam) ser aprofundados nas próximas edições, pois, além de aparecerem poucas vezes, não exploram como as questões externas são determinantes para as pesquisas e o avanço no campo científico.

Personagens da Ciência

Encontramos, além dos estudiosos e cientistas famosos na Ciência, personagens pouco reconhecidos, mas considerados importantes para o avanço científico, como o brasileiro José Bonifácio de Andrada e Silva, Johan August Arfvedson, Leucipo, Demócrito, Paracelsus, Andreas Libavius, Wöhler, Henrich Geissler, Johann Hittorf, Eugene Goldstein, Chadwick, Döbereiner, Chancourtois, Newlands, Mendeleev, Meyer, Moseley.

A segunda subcategoria analisada, referente ao trabalho coletivo, aparece no início da obra com as concepções de Leucipo e seu discípulo Demócrito sobre o átomo (p.7). Em outro momento, encontramos uma discussão sobre uma possível condução de corrente elétrica nos gases a partir dos trabalhos de alguns cientistas no século XIX:

> Gases de um modo geral não conduzem corrente elétrica quando à pressão ambiente. No entanto, no século XIX, os trabalhos de Henrich Geissler (1859), Johann Hittorf (1869) e William Crookes (1879) mostraram experimentalmente que, quando submetidos a baixas pressões, os gases podem tornar-se condutores elétricos. (p.65)

Outro momento que demonstra as discussões coletivas sobre o conhecimento científico apresenta o desprezo dos contemporâneos de Newlands por sua organização dos elementos químicos segundo uma relação periódica semelhante às notas musicais:

> Por buscar essa relação entre Química e Música, Newlands sofreu o desprezo e o escárnio dos membros da Sociedade de Química de Londres. Ao apresentá-lo aos membros dessa entidade, um deles teria perguntado sarcasticamente se ele já teria tentado organizar os elementos na ordem alfabética das letras iniciais dos nomes. (p.89)

Apesar de esse episódio não demonstrar a construção do conhecimento via trabalho coletivo, mostra a busca de Newlands pelo apoio de uma associação para o reconhecimento de seu trabalho. Em outras oportunidades, os autores discutem de forma mais genérica, sem atribuir nomes ou a identificação das pessoas responsáveis pela produção de determinado conhecimento, como no trecho a seguir: "A estrutura fina dos espectros foi explicada quando os cientistas propuseram que os níveis de energia são formados por subdivisões, chamadas de *subníveis*. Estes são designados pelas letras minúsculas s, p, d, f, g, h, etc." (p.80).

Por essa perspectiva, ao discutir a produção de elementos artificiais, os autores lembram as disputas existentes entre os diferentes grupos de cientistas, mas também de forma genérica, sem revelar nomes (p.99).

Nas próximas edições, essa abordagem genérica poderia ser superada pelos autores, deixando mais clara a existência de grupos de estudo e pesquisa que foram importantes para a Química. Outra questão a ser repensada é a omissão de colaboradores importantes. Os autores indicam a relevância dos trabalhos de Lavoisier, considerado por muitos como o "pai da Química" (p.46-7), mas seu trabalho só foi possível se considerarmos as pesquisas e achados de seus contemporâneos (Tosi, 1989; Filgueiras, 2002), aspectos ausentes na obra.

Da mesma forma, os autores não revelam a participação dos colaboradores de Rutherford na elaboração de seu modelo atômico (p.66-7). Mas essas são questões fáceis de serem resolvidas se, como mencionamos anteriormente, houver uma (re)organização da obra para enfatizar mais a perspectiva histórica, evitando abordá-la de forma resumida e simplificada.

A análise da terceira subcategoria, relativa à forma de apresentar aspectos históricos, demonstrou que os autores pouco trabalham com quadros biográficos e, assim, abordam as questões históricas em meio aos conteúdos e conceitos químicos presentes no texto principal.

Análise do livro *Química para o ensino médio*, de Mortimer & Machado

Devido à dificuldade de encontrar a edição de 2005 dessa obra, versão aceita no PNLEM de Química, optamos pela análise da obra de 2002. Conforme conversa informal com a autora Andréa Horta Machado, soubemos que houve poucas alterações do livro para o envio ao PNLEM e, portanto, entendemos que a análise de uma versão anterior não alteraria sensivelmente as informações que buscávamos sobre a presença da História da Ciência nos livros aprovados pelo programa.

O livro de 2002 está organizado em 16 capítulos que somam 393 páginas. Nossa análise se restringiu até o quinto capítulo, "Modelos para o átomo e uma introdução à tabela periódica", perfazendo um total de 131 páginas. A seguir, discutiremos as categorias analisadas.

Construção da Ciência

Um detalhe a comentar é que as questões históricas não aparecem nos primeiros capítulos, sendo uma abordagem presente apenas a partir do quinto capítulo, "Modelos para o átomo e uma

introdução à tabela periódica" (p.86-131), ou seja, no último capítulo que tomamos para análise.

No início desse capítulo, os autores lembram que a ideia de átomo teve origem na Grécia Antiga com Leucipo, Demócrito e Epicuro, mas essa concepção ficou marginalizada por um longo período (p.86). Acreditamos que nesse trecho sucinto os autores poderiam explorar e aprofundar de forma mais adequada a teoria atômica desse período: o que era, como estava fundamentada e sua relevância para superar o pensamento mítico.

Em seguida é apresentado o pensamento de Aristóteles sobre partículas ou mínimos naturais – contrário às ideias de átomos e espaços vazios defendida pelos atomistas anteriores, mas que recebeu adeptos e foi aceito até o século XVI (Renascimento), quando o atomismo foi retomado pela corrente de pensamento conhecida como mecanicismo (p.87).

Na obra, essas transições são apresentadas de forma superficial, sem revelar as bases teórico-metodológicas de cada um desses cenários históricos, bem como a complexa transição necessária para o aceite de novas ideias, como as mecanicistas ou a teoria atômica daltoniana. Dessa forma, esses aspectos poderiam ser reconsiderados em futuras edições desse didático.

Na página seguinte os autores descrevem o uso de novas tecnologias no século XX, como o método de difração de raios X e a microscopia de tunelamento, que permitem "ver" os átomos (p.88). Esse momento também poderia ser repensado para mostrar como a construção da Ciência muda historicamente, uma vez que, atualmente, o desenvolvimento da Química está vinculado, em grande parte, a equipamentos e técnicas cada vez mais complexos (Silveira, 2003). Assim, os autores poderiam frisar que essa nova perspectiva de trabalho torna-se incompatível com as correntes filosóficas do passado, como as concepções da Grécia Antiga, orientadas principalmente por crenças e dogmas; ou com as bases mecanicistas – compreensão dos fenômenos químicos a partir de partículas e movimento.

Essa superficialidade pode ser encontrada novamente quando a obra apenas lembra, de forma pontual, os quatro elementos aristo-

télicos e a ideia de substância elementar lavoiseriana, sem destacar a relevância desses momentos de transição na História da Química (p.96).

Abordagens históricas mais detalhadas são destinadas à descoberta sobre a existência da natureza elétrica da matéria (p.90), a radioatividade (p.91), a elaboração de um modelo atômico por Rutherford e colaboradores (p.93-5) e as investidas de Bohr e de vários sucessores para a elaboração de um modelo atômico quântico (p.99-119). Com uma apresentação histórica mais limitada, os autores também citam os elementos químicos e algumas formas de organização com Döbereiner (p.97), Chancourtois (p.97), Newlands (p.98) e Mendeleev (p.98-9).

Essa abordagem conceitual reflete-se em uma construção linear da Química. Apesar de apresentar a construção de conceitos químicos a partir de acertos e erros, o livro evita apresentar as grandes transições com que esse campo de conhecimento se deparou, importantes por revelar as várias transições que pertencem à História da Química.

A segunda subcategoria, relativa às influências político-econômico-sociais, pode ser encontrada apenas no quinto capítulo:

> No final do século XIX, os conhecimentos da física clássica estavam bem esclarecidos. Avanços significativos em várias áreas – mecânica, termodinâmica, eletricidade e eletromagnetismo – tinham possibilitado a compreensão de diversos fenômenos e o desenvolvimento de *novas tecnologias*. A invenção da máquina a vapor, a utilização da eletricidade nas indústrias e residências, a invenção de motores, o telégrafo, tudo isso estava contribuindo para mudar o modo de vida das pessoas. (p.99, grifo dos autores)

Mas, mesmo assim, a obra apresenta limitações por não discutir como os fatores externos contribuíram ao desenvolvimento científico. A compreensão dos princípios científicos envolvidos no funcionamento da máquina a vapor, por exemplo, só foi alcançada em etapas posteriores ao emprego desta na indústria, devido a inte-

resses econômicos. Assim, as influências econômico-político-sociais devem ser reconsideradas e mais bem exploradas em futuras edições desse didático.

Como destaca Bastos (1998, p.46), os textos de História da Ciência a que temos acesso para consulta, e podemos incluir também nessa categoria os livros didáticos, não revelam as relações existentes entre a Ciência e a sociedade "(ou então fazem apenas afirmações gerais do tipo 'interesses econômicos, políticos e militares estimularam sobremaneira a pesquisa sobre doenças tropicais', sem explicar concretamente como é que isso ocorreu)". Por isso entendemos a necessária revisão dos nossos recursos didáticos quanto à História da Ciência, possibilitando materiais mais fidedignos quanto à construção da Ciência.

Personagens da Ciência

Na leitura da obra, podemos perceber que várias pessoas pouco reconhecidas pelos alunos por suas contribuições à Ciência foram mencionadas, como Leucipo, Demócrito, Epicuro, Gassendi, Mersenne, Goldestein, Jean Perrin, Röntgen, Soddy, Geiger, Marsden, Döbereiner, Chancourtois, Newlands, Mendeleev, Thomas Young, Augustin Fresnel, Maxwell, Hansen, Balmer, Louis de Broglie, Schroedinger, Max Born.

Um problema que gostaríamos de destacar é que esses estudiosos e pesquisadores mencionados acima apenas apareceram no quinto capítulo, sendo uma das razões para a frequência dessa subcategoria ser preenchida na nossa tabela de dados como "discutido em poucos momentos". Assim, acreditamos que os quatro capítulos iniciais dessa obra devam abordar, em futuras edições, alguns dos personagens que fizeram parte da Ciência, tanto os pouco reconhecidos como os mais conhecidos, deixando nítido, nas páginas iniciais, que a Ciência é uma atividade humana.

Quanto à presença de equipes atuando no desenvolvimento científico, também constatamos que a participação coletiva apenas aparece, novamente, a partir do quinto capítulo, referente aos mo-

delos atômicos e aos sistemas de organização dos elementos químicos. Inicialmente, há o destaque à de Leucipo, Demócrito e Epicuro, que defendiam a existência dos átomos e de espaços vazios (p.86). Mas acreditamos que os autores poderiam mencionar que Epicuro não atuou conjuntamente com os outros dois atomistas, pois estes eram personagens de períodos e escolas filosóficas diferentes, apesar das concepções próximas sobre o atomismo.

O capítulo inteiro discute a construção de ideias coletivas sobre a natureza microscópica da matéria, como as investidas de Jean Perrin e Thomson, em trabalhos diferentes, sobre a natureza dos raios catódicos (p.90), ou como a retomada do estudo de Becquerel, realizado anteriormente em parceria com seu pai, sobre um sal de urânio (p.91). No campo da radioatividade, os autores também lembram as contribuições de Marie e Pierre Curie e de Rutherford e Soddy sobre a descoberta da instabilidade e desintegração dos átomos radioativos (p.92).

Em seguida, a obra descreve o processo de elaboração do modelo atômico de Rutherford, construído com a colaboração de Geiger e Marsden (p.93-5). O modelo quântico também é apresentado na obra como resultado da dedicação de vários cientistas, estudando os mais diferentes fenômenos. No trecho a seguir podemos notar esse aspecto:

> Na década de 1920, houve um grande desenvolvimento da física, que culminou com o estabelecimento da teoria da *mecânica quântica*. O modelo atômico que emergiria do esforço dessa geração de físicos iria abandonar as ideias de órbita e, por conseguinte, de trajetória para descrever o comportamento do elétron. Em quatro lugares diferentes da Europa – Göttingen, Copenhague, Cambridge e Zurique –, físicos chegariam a diferentes formulações para essa nova mecânica quântica. As formulações de Werner Heisenberg – que seriam aplicadas por Wolfgang Pauli ao átomo de hidrogênio – e de Paul Dirac foram propostas mais ou menos na mesma época em que era desenvolvida por Erwin Schroedinger a equação de onda associada ao elétron. (p.114, grifo dos autores).

Mais à frente, a obra resgata uma carta enviada a Max Born por Einstein na qual este relata sua oposição à mecânica quântica da Escola de Copenhague, representada principalmente por Bohr. Como reflexo dessa polêmica, foram lançados dois artigos com o mesmo título – "Pode a descrição quântica da realidade física ser considerada completa" –, o primeiro publicado por Einstein, Podolsky & Rosen, enquanto o segundo foi de autoria de Bohr para desconstruir as concepções de Einstein e seus colaboradores (p.115-6). Essa é uma oportunidade significativa para discutir a existência de debates no meio científico, resgatando que nem sempre a construção e o aperfeiçoamento de ideias acontecem passivamente, sem disputas.

Em outros momentos, o trabalho coletivo aparece de forma mais genérica, sem a identificação e apresentação dessas interações sociais no rumo do desenvolvimento científico, como no início dos estudos com o modelo quântico, quando "Planck e outros cientistas de sua época tiveram dificuldades em aceitar a teoria quântica, que mudava completamente a maneira de ver os fenômenos em escala atômica" (p.104).

Os autores também lembram a Conferência Internacional de Física, em Como (Itália), realizada em 1927, e, poucas semanas mais tarde, o Conselho de Solvay, em Bruxelas (p.115). Ao discutirem esses eventos, acreditamos que os autores também poderiam revelar que a construção e aceitação de conhecimentos científicos estão relacionadas ao debate e interação entre diferentes pessoas e grupos de pesquisa nesses encontros, ficando a sugestão para os autores complementarem a apresentação desses episódios históricos.

Com relação às questões históricas, podemos notar que os autores se preocuparam em abordá-las em meio ao texto principal. Apesar de o tratamento histórico acontecer apenas no quinto capítulo, tornou-se uma ação importante ao não utilizar apenas os quadros biográficos.

Análise do livro *Química*, de Feltre

A edição de 2004 dessa obra já possui o carimbo do PNLEM na capa. Novamente, acreditamos que, talvez, os pareceristas tenham se enganado no momento de registrar os dados dos livros aceitos no processo de análise; ou a editora tenha se equivocado durante a catalogação desse didático.

Esse livro está dividido em três volumes. Desses, conseguimos apenas um exemplar do primeiro volume – *Química geral*, sendo justamente o de nosso interesse de análise. Realizamos uma análise até o quinto capítulo, "A classificação periódica dos elementos", que ocupa 134 páginas da obra.

Construção da Ciência

Encontramos, na leitura dos capítulos analisados, a apresentação de dois fatos históricos considerados importantes pelo autor, ambos descritos na forma de tópicos. O primeiro menciona o trabalho dos alquimistas árabes e europeus, de 500 a 1500 d.C., na busca do elixir de longa vida e da pedra filosofal; e o segundo acontecimento faz referência à extensão da alquimia ao campo da medicina com a iatroquímica no século XVI (p.49-50).

No parágrafo seguinte, a obra lembra as investidas de Demócrito com a noção de átomo para explicar a matéria. Contudo, revela que a teoria aristotélica dos quatro elementos prevaleceu (p.50).

Em seguida, o autor resgata a relevância do trabalho experimental no século XVIII, que adquiriu caráter científico. É com essa linha de raciocínio que, nos próximos parágrafos, há referência ao trabalho de Lavoisier (p.50).

Se levarmos em conta o extenso período resgatado, é notório como o tratamento histórico das grandes rupturas e transições que marcaram a História da Química se dá de forma sintética e superficial – praticamente um parágrafo para cada cenário histórico.

Outros episódios sobre mudanças de ideias e concepções científicas são apresentados. Porém, esses momentos estão ligados a uma construção linear da Ciência, como na evolução dos estudos sobre a natureza microscópica da matéria: Geissler (p.75), Crookes (p.76), Thomson (p.77), Becquerel (p.77), Rutherford (p.77-8), Bohr (p.90-1), De Broglie (p.94), Heisenberg (p.94), Schrödinger (p.95), Pauling (p.101-2).

Essa perspectiva de evolução linear também pode ser encontrada no quinto capítulo, referente às formas de organização dos elementos químicos. A apresentação dos trabalhos de Döbereiner, Chancourtois, Newlands, Meyer, Mendeleev acontece como um progresso contínuo, rumo à atual tabela periódica (p.111-3).

É nesse cenário que alertamos para a necessária mudança dessa visão contínua da Ciência, pois muitos episódios da História da Química, dos quais alguns são resgatados brevemente na obra, mostram que nem sempre ocorre uma evolução "gradativa" para "complementar" o conhecimento químico, ou seja, esse campo de estudos também avança por abandono de concepções e correntes filosóficas que foram aceitas e explicaram muitos fenômenos ao longo dos anos (Kuhn, 2005), como é lembrado por Feltre em outro momento:

> Com o passar do tempo, algumas explicações científicas se mostram corretas e são aceitas; outras se mostram incorretas e são abandonadas. Sendo assim, a *ciência nunca está terminada*, isto é, nunca existe uma explicação final e definitiva para as coisas que são observadas. Pelo contrário, a ciência está diariamente se completando e se aperfeiçoando. (p.68, grifo do autor)

Quanto a outra subcategoria, encontramos um único parágrafo que destaca a presença de influências econômico-político-sociais nos rumos do desenvolvimento científico:

> É importante também entender que a *ciência nunca é neutra* (descobrir só por descobrir). Na verdade, ela está sempre *ligada aos*

> *interesses humanos* – interesse econômico das empresas que desenvolvem novos materiais e produtos, para aumentar seus lucros; interesse militar dos países que defendem sua paz ou que se preparam para uma guerra, e assim por diante. (p.68, grifo do autor)

Contudo, essa descrição genérica, além de limitada, não contextualiza um episódio específico da Química. Acreditamos que o autor poderia explorar de forma mais detalhada a interferência causada na Ciência por fatores externalistas, como no início do primeiro capítulo, quando menciona a Revolução Industrial (p.1), ou no tópico sobre processos de separação de misturas ao discutir algumas técnicas empregadas na indústria (p.31-7). Em outra oportunidade, quando aborda a aplicação de conhecimentos químicos na indústria (p.67), o autor também poderia estabelecer uma relação entre desenvolvimento científico e influências externas, devendo ser uma ação a ser repensada e incorporada futuramente na obra.

Personagens da Ciência

O autor não se limita a apresentar apenas os personagens reconhecidos da Ciência e, assim, destaca nomes históricos relevantes como Demócrito, Tales de Mileto, Geissler, Goldstein, Chadwick, De Broglie, Schrödinger, Döbereiner, Chancourtois, Newlands, Meyer, Mendeleev, Moseley, Seaborg, Meitner, Röntgen.

A primeira descrição relativa a um possível avanço na Ciência a partir de um trabalho cooperativo acontece apenas no quarto capítulo, "A evolução dos modelos atômicos": "Uma complementação às experiências de Crookes foi feita em 1886 por Eugen Goldstein, que modificou a ampola de Crookes e descobriu os chamados raios *anódicos* ou *canais*" (p.76, grifo do autor).

Mais à frente, o autor lembra a descoberta dos elementos radioativos polônio e rádio pelo casal Curie (p.77). Em outra situação, também fica perceptível a importância do trabalho coletivo para a elaboração e aperfeiçoamento do modelo quântico com as contri-

buições e investidas de Bohr (p.91-2), De Broglie (p.94), Heisenberg (p.94), Schrödinger (p.95), Pauling (p.101-2).

Contudo, o autor deve atentar para a omissão de alguns personagens importantes para a História da Química. Nesse sentido, a obra apenas lembra o atomista Demócrito da Grécia Antiga (p.50); os nomes dos contemporâneos de Lavoisier (p.50) não são mencionados, nem mesmo suas contribuições e influências sobre o trabalho desse francês; há também negligência quanto aos nomes de Geiger e Mardsen (p.78-80), cooperadores na construção do modelo atômico de Rutherford.

Segundo Kosminsky & Giordan (2002), ainda existem concepções discentes reducionistas sobre o trabalho coletivo – visões que acompanham a maioria dos didáticos e os discursos dogmáticos dos professores que desconhecem a existência de comunidades científicas. Assim, a obra precisa rever algumas apresentações históricas, pois muitos conceitos e transições da Química só foram possíveis com a ajuda de outras pessoas/cooperadores/grupos de pesquisa que, por sua vez, não deveriam ser omitidos do processo de desenvolvimento científico.

Quanto à terceira subcategoria, notamos que a obra trabalha questões histórico-epistemológicas em meio ao texto principal. Porém há vários quadros biográficos dos cientistas ao longo dos capítulos analisados – Lavoisier (p.50), Proust (p.51), Dalton (p.53), Thomson (p.77), Rutherford (p.78), Bohr (p.91), Pauling (p.101), Mendeleev (p.112).

Martins (2006) destaca que é comum encontrar nos didáticos a redução da História da Ciência a nomes, datas e anedotas, refletindo em informações históricas distorcidas. Nesse cenário podem ser criadas ideias equivocadas de que a Ciência: é feita por grandes personagens; é constituída por eventos ou episódios marcantes – as famosas descobertas; sofre alteração em uma determinada data; pode ser estudada a partir de fatos isolados. Por isso acreditamos que essa abordagem limitada poderia ser eliminada em futuras edições, uma vez que os encartes históricos podem complicar, ao invés de auxiliar, a compreensão histórica da Química.

Considerações finais

Nossa investigação busca contribuir para a melhoria desse programa. Portanto, acreditamos que, futuramente, a ficha avaliativa dos livros poderia incluir níveis de classificação, assim como os nossos (traço, 1, 2, 3, 4, 5), possibilitando a compreensão do nível de profundidade explorado pelos livros em cada critério analisado, principalmente os de caráter eliminatório que apenas constam das opções *sim* (presença) e *não* (ausência).

No que se refere aos livros aprovados, percebemos aproximações e distanciamentos entre as obras analisadas. Nesse sentido, algumas revisões ainda se fazem necessárias, de modo a abordar questões ausentes (ou praticamente ausentes) dos textos, como as transições que fizeram parte do desenvolvimento da Química (Bianchi, Abrecht & Maia, 2005; Mortimer & Machado, 2002; Feltre, 2004).

O papel das influências econômico-político-sociais no processo de construção da Química também apareceu em poucos momentos, ou mesmo de forma ínfima nos livros. Para futuras edições, gostaríamos de alertar para as falhas e lacunas relativas às questões externalistas, pois, de acordo com Martins (2006, p.XX): "A ciência não se desenvolve em uma torre de cristal, mas sim em um contexto social, econômico, cultural e material bem determinado". Portanto, as questões externalistas precisam ser resgatadas pelos autores, favorecendo uma melhor compreensão da Ciência pelos discentes.

As discussões sobre o trabalho coletivo na Ciência também precisam ser mais bem exploradas em futuras edições desses didáticos, inclusive pela obra de Mortimer & Machado (2002), que discute essa questão, assim como outros aspectos históricos, apenas no quinto capítulo, dificultando a percepção discente de que a Ciência é uma atividade humana e histórica.

As obras de Bianchi, Albrecht & Maia (2005) e de Feltre (2004), provavelmente, sejam as mais complicadas em relação à parte his-

tórico-epistemológica, com constantes abordagens superficiais e limitadas, além de serem os únicos livros a explorar excessivamente o uso de quadros biográficos e *boxes* históricos desconectados do texto principal.

Somando-se a esses fatos, a leitura dessas duas obras revelou um perfil de ensino tradicional, com muitas classificações e definições em destaque, tornando-se difícil compreender os motivos pelos quais esses dois didáticos foram aprovados pelo programa, provavelmente pelo fato de os outros livros inscritos para análise apresentarem mais limitações, erros e equívocos, ou mesmo terem sido reprovados nos critérios eliminatórios.

Nesse cenário, acreditamos que iniciativas como o PNLEM são interessantes ao disponibilizarem didáticos gratuitamente. Mas a melhoria das formações inicial e continuada dos professores também é uma ação relevante, uma vez que pode favorecer o uso de metodologias e recursos didáticos variados no processo de ensino-aprendizagem.

Conforme nos alerta o PCN+, é relevante e necessário o uso de variados materiais e recursos didáticos: "dos livros didáticos aos vídeos e filmes, uso do computador, jornais, revistas, livros de divulgação e ficção científica e diferentes formas de literatura, manuais técnicos, assim como peças teatrais e música dão maior abrangência ao conhecimento", proporcionam momentos de integração de saberes, "motivam, instigam e favorecem o debate sobre assuntos do mundo contemporâneo" (Brasil, 2002, p.109), bem como a história de consolidação deste.

Para finalizar, novamente alertamos que nossa análise se restringiu até certos capítulos de cada obra, considerados suficientes para entender a relevância atribuída às questões históricas pelos autores, uma vez que perpassa parte considerável das obras (*Química e sociedade* – 189 páginas; *Universo da Química* – 167 páginas; *Química* – 186 páginas; *Química na abordagem do cotidiano* – 113 páginas; *Química para o ensino médio* – 131 páginas; *Química* – 134 páginas), contendo vários conceitos de grande riqueza histórica. Porém, uma análise de toda obra poderia produzir revisões na nossa tabela de

análise categorial, mas acreditamos que as alterações nas frequências de abordagem histórica não seriam substanciais.

Assim, dentro desse contexto de análise, a primeira versão do PNLEM da área de Química revelou que os livros didáticos aprovados pelo programa apresentam algumas abordagens históricas interessantes, porém ainda revelam algumas limitações histórico-epistemológicas a serem superadas nas próximas edições desse programa de análise, compra e distribuição de didáticos. Alertamos que foi lançado, para 2012, um novo catálogo com os livros de Química aprovados para os próximos três anos (2012-2014) e, assim, há a necessidade de novas análises para mapearmos as características dos didáticos presentes nas salas de aula.

Referências bibliográficas

AMARAL, I. A. et al. Avaliando livros didáticos de Ciências: análise de coleções didáticas de Ciências de 5ª a 8ª séries do ensino fundamental. In: FRACALANZA, H., MEGID NETO, J. (Orgs.). *O livro didático de Ciências no Brasil*. Campinas: Komedi, 2006. p.197-217.

BASTOS, F. História da Ciência e pesquisa em ensino de Ciências: breves considerações. In: NARDI, R. (Org.). *Questões atuais no ensino de Ciências*. São Paulo: Escrituras, 1998. p.43-52.

BIANCHI, J. C. A., ALBRECHT, C. H., MAIA, D. J. *Universo da Química*. São Paulo: FTD, 2005.

BRASIL. *PCN + Ensino médio*: orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC; Semtec, 2002.

_____. *Resolução nº 38*, de 15 de outubro de 2003. Brasília: Ministério da Educação – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – Conselho Deliberativo, 2003.

_____. *Química*: Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio – PNLEM, 2008 – Secretaria de Educação Básica.

Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília: Ministério da Educação – Secretaria de Educação Básica, 2007.

CANTO, E. L., PERUZZO, F. M. *Química na abordagem do cotidiano*. v.1, 2 e 3. São Paulo: Moderna, 2005.

CARVALHO, Cristiano. *A história da indução eletromagnética contada em livros didáticos de Física*. Curitiba, 2007. 134f. Dissertação (mestrado) – UFPR.

FELTRE, R. *Química*. v.1, 2 e 3. São Paulo: Moderna, 2005.

FILGUEIRAS, Carlos L. A. *Lavoisier*: o estabelecimento da Química Moderna. São Paulo: Odysseus, 2002.

KOSMINSKY, Luis, GIORDAN, Marcelo. Visões de Ciência e sobre cientistas entre estudantes do ensino médio. *Química Nova na Escola*, n.15, p.11-8, mai. 2002.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 9.ed. São Paulo: Perspectiva, 2005.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência & Educação*, v.11, n.2, p.305-17, 2005.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências*: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p.XVII-XXX.

MORTIMER, E. F., MACHADO, A. H. *Química para o ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005.

NÓBREGA, O. S., SILVA, E. R., SILVA, R. H. *Química*. São Paulo: Ática, 2005.

SANTOS, W. L. P., MÓL, G. S. (Coords.). *Química e sociedade*. São Paulo: Nova Geração, 2005.

SILVEIRA, Marcelo P. *Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª e 8ª séries do ensino fundamental*. São Paulo, 2003. 144f. Dissertação (mestrado) – Instituto de Química – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

SOLBES, J., TRAVER, M. J. La Utilización de la Historia de las Ciencias en la enseñanza de la Física y la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, v.14, n.1, p.103-12, 1996.

TOSI, L. Lavoisier: uma revolução na Química. *Química Nova*, v.12, n.1, p.33-56, 1989.

SOBRE O LIVRO

Formato: 14 x 21 cm
Mancha: 23, 7 x 42,10 paicas
Tipologia: Horley Old Style 10,5/14
2011

EQUIPE DE REALIZAÇÃO

Coordenação Geral
Ricardo Nakamiti

ISBN 978-85-7983-215-4

CULTURA
ACADÊMICA
Editora