

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA**

PAULO ALVES PORTO

**Explorando interfaces entre a história da ciência
e o ensino de química: investigação de livros didáticos e
desenvolvimento de estudos de caso em história da química.**

São Paulo

2013

PAULO ALVES PORTO

**Explorando interfaces entre a história da ciência
e o ensino de química: investigação de livros didáticos e
desenvolvimento de estudos de caso em história da química.**

Texto crítico sistematizado de parte da produção científica do candidato, apresentado ao Instituto de Química da USP para a obtenção do título de Livre-Docente na área de Ensino de Química.

São Paulo

2013

A
Gabriel,
Juliana
e Isabela

Resumo

Porto, P. A. **Explorando interfaces entre a história da ciência e o ensino de química: investigação de livros didáticos e desenvolvimento de estudos de caso em história da química.** 2013. Texto para Livre-Docência na área de Ensino de Química. Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

Este texto crítico sistematiza algumas ideias a respeito da aproximação entre a história da ciência e o ensino de química. Situando-se em relação à literatura da área, este texto aponta para a necessidade de reflexões de natureza historiográfica para que a abordagem da história da ciência possa convergir com os objetivos educacionais da atualidade, tanto em termos do ensino de conceitos quanto em relação a discussões sobre as características do conhecimento científico. Tendo como referência a contemporânea historiografia da ciência, apresenta-se a análise de livros didáticos de química para os níveis médio e superior. Também são propostos alguns estudos de caso em história da química, com o intuito de se discutir possibilidades de sua utilização na formação de professores e no ensino médio.

Palavras-chave: ensino de química; história da química; livros didáticos; estudos de caso em história da química; historiografia da ciência.

Abstract

Porto, P. A. **Exploring interfaces between history of science and chemical education: studies on textbooks and development of case studies in the history of chemistry.** 2013. Thesis for the achievement of the title of *livre docente* in Chemical Education. Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

This critical text presents possible links relating the history of science to chemical education. Considering the literature in chemical education, this text points to the need of an appropriate historiographical background in order to make the history of science approach converge to present-day educational goals. It is argued that history of science may be an important means to teach chemistry concepts, and also to discuss the characteristics of scientific knowledge. Contemporary historiography of science is used here as a theoretical framework for the analysis of high-school and university chemistry textbooks. Case studies in the history of chemistry are also presented, aiming at the discussion of possibilities for their use in initial and in-service teacher education and in secondary education.

Keywords: chemical education; history of chemistry; textbooks; case studies in the history of chemistry; historiography of science.

Sumário

Capítulo 1 – História da ciência e ensino de química	7
Capítulo 2 – Implicações da historiografia da ciência para o ensino de química	17
Introdução.....	17
A nova historiografia da ciência.....	20
Educadores em ciências diante da história da ciência – uma longa discussão.....	24
Uma discussão mais recente.....	30
O professor de química diante da história da ciência.....	39
A questão das fontes.....	41
Estratégias para a formação dos professores de química	42
Trabalhando com estudos de caso	44
Algumas considerações sobre a história da ciência e o ensino de ciências.....	46
Capítulo 3 – Investigando a presença da história da ciência em livros didáticos de química.	47
Introdução.....	47
Metodologia	50
Resultados e discussão	55
Livros para o Ensino Médio.....	55
Livros para o Ensino Superior	64
Algumas considerações sobre a análise de livros didáticos	83
Capítulo 4 – Investigando livros didáticos de química em uso no Brasil ao longo do século XX: estudo das ilustrações e o caso do Instituto de Química da USP	86
Introdução.....	86
Parte I – Investigando as ilustrações de livros didáticos de química	87
Seleção e caracterização das obras analisadas	87
Análise textual e iconográfica das obras	89
Tendências para a educação em química a partir dos livros didáticos.....	95
Estilos e tendências	108
Parte II – O uso do livro didático de química: o caso do IQ-USP	111
A escolha dos entrevistados	112
O uso do livro didático no IQ-USP	114
Algumas considerações sobre o uso de livros didáticos de química geral no IQ-USP.....	122
Capítulo 5 – Estudos de caso em história da química: explorando a complexidade da ciência	124

Estudo de Caso I: Lavoisier e o Tratado Elementar de Química	126
Introdução	126
Investigação de alguns livros didáticos de Química	126
A definição operacional de elemento químico.....	128
A nova nomenclatura	129
Algumas considerações sobre o caso das contribuições de Lavoisier	131
Estudo de caso II: John Dalton e a quantificação da teoria atômica	132
Introdução	132
Os primeiros estudos de Dalton	133
O corpuscularismo newtoniano.....	133
A primeira teoria das misturas gasosas e a lei das pressões parciais	135
Da lei de Henry para a teoria atômica quantitativa.....	137
A determinação das massas atômicas relativas: um problema a ser discutido	142
A difícil reconstituição das origens das ideias de Dalton	149
Algumas considerações acerca do caso de Dalton e a quantificação dos átomos	150
Estudo de Caso III: Faraday e <i>A história química de uma vela</i>	155
Introdução	155
Uma leitura reflexiva de <i>A história química de uma vela</i>	156
Algumas considerações sobre o caso das palestras de Faraday	169
Estudo de Caso IV: A síntese da quinina	171
Introdução	171
A quinina como bem comercialmente cobiçado	171
A síntese da quinina: primeiros passos	174
A síntese total (formal) da quinina.....	176
As críticas de Gilbert Stork.....	180
Rabe e Kindler revisitados	182
A síntese da quinina como tema gerador para o ensino de química	185
Estudo de Caso V: Midgley e o desenvolvimento de novas substâncias na primeira metade do século XX.....	188
Introdução	188
O crescimento do conhecimento químico	188
Desenvolvimento de novas substâncias: o caso do tetraetilchumbo.....	189
Um novo desafio: a indústria da refrigeração e os CFCs.....	193

Os compostos de Midgley como estudo de caso para o ensino de química	196
Algumas considerações sobre o caso do tetraetilchumbo e dos CFCs	199
Estudo de caso VI: A trajetória científica de Hans Stammreich e a questão das fontes em história da ciência.....	200
Introdução	200
As novas tecnologias e a questão das fontes.....	201
Stammreich e a polêmica sobre a transmutação de mercúrio em ouro.....	203
A Segunda Guerra e a chegada de Stammreich ao Brasil.....	206
A importância da instrumentação científica	209
Algumas considerações sobre o estudo da trajetória de Stammreich	211
Estudo de Caso VII – Augusto dos Anjos e o poema “Psicologia de um Vencido”	212
Introdução	212
Vida e morte na ciência do final do século XIX.....	213
Psicologia de um Vencido: cruzamento dos planos científico e poético	215
Algumas considerações sobre o estudo do poema de Augusto dos Anjos	219
Considerações Finais.....	220
Referências Bibliográficas	225

À guisa de um preâmbulo informal...

Perfil da comunidade “Eu odeio química!!!” no *Orkut*: *Entre já nessa comunidade se você não aguenta mais ou já sofreu nas mãos desta maldita e INÚTIL (...) matéria com suas funções orgânicas, mols e estequiometrias que tanto aterroriza jovens estudantes para nunca ser usada na vida real.*

Fórum dessa mesma comunidade: *“que parte da química é a mais chata?”*.

Algumas respostas:

A química toda é muito chata, só que MOL não dá para suportar, é horrível!!!!

Tudo é chato, o que salva é estequiometria, que é mais ou menos, já que é só ficar fazendo regra de três.

Para que inventaram a tabela periódicaaaaaaaaa??????? Coisa mais chata.

Não sei qual é o fundamento da química: para que tem que misturar número com letra?

As redes sociais têm se constituído em instrumentos privilegiados para a comunicação entre os jovens. Ali se tem o registro de opiniões imediatas, emitidas no calor dos acontecimentos, fugazes – mas também espontâneas e diretas. Sendo assim, podem oferecer um retrato do pensamento contemporâneo de uma parcela da população sobre determinado assunto – como a química, ou talvez fosse mais preciso especificar, a química escolar. Os fragmentos citados acima foram obtidos na rede social *Orkut*, que se tornou extremamente popular no Brasil, embora tenha perdido membros e prestígio para o *Facebook* nos últimos anos. São apenas algumas frases, sem a pretensão de terem resultado de algum levantamento realizado com metodologia científica, mas que consideramos representativas de uma parcela significativa de estudantes e de cidadãos em geral. Exatamente por haverem sido manifestados fora do ambiente acadêmico ou escolar, fora do contexto de uma entrevista conduzida por um pesquisador, esses depoimentos talvez expressem de maneira mais sincera o pensamento de seus autores a respeito da química.

Esses depoimentos nos revelam, de maneira crua e sem disfarces, aquilo que Matthews (1995, p. 165) chamou de “mar de falta de significação” no ensino de ciências. Pesquisas sobre concepções alternativas, perfis conceituais e tantas outras abordagens relacionadas à caracterização dos processos de aprendizagem mostraram, e mostram, diferentes aspectos

desse “mar”. Entretanto, frases como “Para que inventaram a tabela periódica?” e “Para que tem que misturar número com letra?” podem ser tomadas como verdadeiros símbolos da incompreensão mais ou menos generalizada, por parte dos alunos, em relação ao que ocorre em tantas aulas de química.

O desafio que se apresenta para todos os educadores em química consiste em como lidar com esse “mar de falta de significação”. Dito de outro modo: como podemos ajudar os alunos, e o público em geral, a entenderem, afinal, do que se trata a química? Evidentemente, não há resposta simples a essa pergunta. Todos os dias, pesquisadores e professores de química tentam encontrar maneiras de superar o desafio, de muitas formas diferentes. O que apresentamos nas páginas a seguir são algumas reflexões e possibilidades, desenvolvidas ao longo de alguns anos de dedicação à docência em disciplinas de química e de formação de professores, e à pesquisa em ensino de química e em história da ciência. Nosso percurso nos levou a buscar na história da ciência caminhos para tentar compreender a química, as dificuldades que ela oferece aos estudantes, e formas de fazer com que estes enxerguem significado no conhecimento químico. Temos a convicção de que não é o único caminho. Educadores em química devem explorar a variedade de recursos, tanto teóricos quanto materiais, que a pesquisa em ensino de ciências, a prática de sala de aula e as novas tecnologias têm a oferecer: as diferentes formas de trabalhar com experimentos, a investigação das interações em sala de aula, a aprendizagem por investigação, o uso de vídeos e simulações, os ambientes virtuais de aprendizagem, a resolução de problemas, a modelização, a argumentação... A lista poderia se estender muito, e não temos intenção de fazer juízos de valor sobre quaisquer desses recursos: todos são importantes para o desenvolvimento do ensino de ciências. Apenas entendemos que, por meio da aproximação entre a história da ciência e o ensino de química, também podemos oferecer alguma contribuição para a compreensão das dificuldades, e a melhoria da aprendizagem, envolvidas no processo de ensino da química. Entendemos que a análise do processo histórico do desenvolvimento da ciência pode auxiliar o estudante a dar significado ao conhecimento químico, ao vislumbrar as questões que motivaram a proposição de conceitos e do olhar característico que o químico lança sobre a realidade. Entretanto, a aproximação entre duas áreas de conhecimento distintas, com características, objetivos e metodologias próprias, é sempre um caminho difícil. No texto que se segue, procuramos oferecer algumas contribuições para esse processo de aproximação.

Capítulo 1 – História da ciência e ensino de química

A área de ensino de ciências, ainda que relativamente jovem se comparada a outras áreas de conhecimento – especialmente as ciências da Natureza, com as quais mantém estreitas ligações – vem experimentando notável desenvolvimento nas décadas recentes. A vitalidade da área é atestada pelo crescente número de congressos nesse campo de pesquisa, com expressivo número de participantes a cada edição, grande número de periódicos e livros dedicados ao tema, variedade de linhas de pesquisa e referenciais teóricos, diversidade, abrangência e maturidade das abordagens que têm sido dedicadas à problemática do ensino de ciências. O conhecimento construído pela comunidade de educadores em ciências, ao longo das últimas décadas, é expressivo. Seria enganoso, porém, supor que, como consequência dessa disponibilidade de conhecimento, restariam cada vez menos problemas a serem resolvidos pelos educadores nos diversos níveis de ensino, ou que um ideal de educação científica para todos estivesse cada vez mais próximo de ser alcançado.

Analisando a literatura recente, observam-se, de fato, manifestações de insatisfação com o atual ensino de ciências em geral, e com o ensino de química em particular. Dibattista e Morgese (2012) citam uma pesquisa realizada na Comunidade Europeia em 2005, na qual 50% dos cidadãos europeus entrevistados declararam que as aulas de ciências nas escolas não eram interessantes. Tentando buscar os fatores responsáveis pelo desinteresse, os autores observam que as disciplinas científicas são consideradas difíceis e exigentes, e o esforço necessário para estudá-las não compensa. Dibattista e Morgese (2012) acrescentam que “os problemas residem nos métodos de ensino, nos conteúdos, nas ferramentas e nas metodologias empregadas no ensino das disciplinas científicas, e também na imagem de ciência que a educação formal transmite”. Sjöström (2011) recentemente defendeu uma completa reformulação do ensino de química, opondo-se àquele baseado no discurso predominante da química, e que deveria se voltar para a formação de cidadãos críticos, atuantes e “quimicamente letrados”. Dos Estados Unidos também vêm clamores por mudanças: Talanquer (2011) argumenta que estudos recentes em filosofia da química apontam para a necessidade de reformular objetivos, currículos e metodologias didáticas. Em comum, os trabalhos citados manifestam insatisfação com a maneira como o ensino de química é concebido: a ênfase no conhecimento atual deveria ser deslocada para os processos característicos da produção do conhecimento químico, e suas interações com a sociedade. São exemplos de como certos apelos, que vêm sendo feitos há tempos, permanecem atuais.

A ideia de que o ensino de ciências deve abranger objetivos relacionados ao desenvolvimento de noções a respeito de como o conhecimento científico é elaborado encontra-se bem estabelecida na comunidade de pesquisadores da área. Entre os autores mais citados a esse respeito, pode-se mencionar Matthews (1992, 1994, 1998, 2009), Hodson (1986, 1988, 2008, 2009), Duschl (1985, 1990, 1994), McComas (1998), Lederman (1986, 1992, 2004, 2007), Lederman *et alii* (2002), Holton (1975, 1978), Izquierdo-Aimerich (2006, 2012), Adúriz-Bravo (2006), Gil-Pérez *et alii* (2001), Paixão e Cachapuz (2003), Cachapuz *et alii* (2005).

Gil-Pérez e colaboradores (2001), em extenso trabalho de revisão, resumem o que chamam de “visões deformadas da ciência”, isto é, ideias difundidas entre professores, alunos e na sociedade em geral que não correspondem ao pensamento atual a respeito da natureza da atividade e do conhecimento científicos. Os autores ponderam que o ensino de ciências, ao voltar-se essencialmente à apresentação dos conhecimentos já elaborados, muitas vezes na forma de exclusiva e monótona memorização de conteúdos, gerou duas consequências indesejadas: o desenvolvimento de visões deformadas da ciência, acompanhadas pelo desinteresse e, muitas vezes, pela rejeição dos estudantes à ciência. Gil-Pérez e colaboradores relacionam sete concepções bastante comuns que consideram inadequadas e prejudiciais ao entendimento da ciência: (1) concepções empírico-indutivistas e ateóricas (com excessiva ênfase na observação e experimentação); (2) visões rígidas, algorítmicas, infalíveis (não contemplam o caráter tentativo, as dúvidas, a criatividade na ciência); (3) visões aproblemáticas e ahistóricas (a ciência se constitui em conhecimento acabado e dogmático, construído de maneira arbitrária); (4) visões exclusivamente analíticas (ciência “superespecializada”, que trata somente de situações simplificadas e idealizadas); (5) visões acumulativas, de crescimento linear (a ciência não inclui crises nem remodelações profundas); (6) concepções individualistas e elitistas (ciência feita por uma elite de homens geniais, cada qual trabalhando sozinho em seu laboratório); (7) visões descontextualizadas da ciência (ou seja, a ciência vista como socialmente neutra e isolada do meio em que é produzida) (Gil-Pérez *et alii*, 2001, p. 128-135). Os autores ressaltam que tais visões não são distintas e autônomas, mas em geral aparecem associadas entre si:

Parece razoável, por exemplo, que uma visão individualista e elitista da ciência apóie implicitamente a ideia empirista de “descoberta” e contribua, além do mais, para uma leitura descontextualizada e socialmente neutra da atividade científica (realizada por “gênios solitários”)... [U]ma visão rígida, algorítmica e exata da ciência pode reforçar uma interpretação acumulativa e linear do desenvolvimento

científico, ignorando as crises, as controvérsias e as revoluções científicas (Gil-Pérez *et alii*, 2001, p. 134).

Estudo publicado em 1996 nos EUA, a respeito do entendimento da população daquele país sobre a produção do conhecimento científico, revelou que expressiva parcela dos entrevistados (64%) desconhecia aspectos fundamentais da natureza da ciência, como o desenvolvimento e teste de teorias, necessidade de grupos de controle em experimentos, e precisão em medidas, por exemplo (McComas, Clough & Almazroa, 1998).

A superação dessas visões inadequadas precisa estar entre os objetivos dos educadores em ciência nos diferentes níveis de ensino – e a história e a filosofia da ciência são apontadas como tendo papel importante nesse processo. O estudo e discussão de episódios da história da ciência podem propiciar aos estudantes reflexões a respeito de como os cientistas trabalham, suas motivações, suas interações com a comunidade científica e com a sociedade em geral, entre outros aspectos. Podem, enfim, ajudar os estudantes a vislumbrarem um pouco da complexidade da ciência. Isso somente será possível se os professores se convencerem de que seu objetivo não deve ser apenas ensinar os *conteúdos* da ciência, mas também auxiliar seus alunos a entenderem o que o conhecimento científico tem de peculiar e característico – e que o fizeram ser valorizado a ponto de ser incluído na educação básica para a cidadania. Nesse contexto, educadores em ciência fazem uso da expressão “natureza da ciência”¹, para se referir aos aspectos do empreendimento científico que são relevantes caracterizar no ensino de ciências. De acordo com McComas *et alii* (1998):

A natureza da ciência... mistura aspectos de vários estudos sociais da ciência, incluindo história, sociologia e filosofia da ciência, combinados com pesquisas em ciências cognitivas, tais como a psicologia, em uma rica descrição do que é a ciência, de como ela funciona, de como os cientistas atuam como um grupo social, e de como a própria sociedade orienta e reage aos esforços científicos (McComas *et alii*, 1998, p. 4).

Lederman e colaboradores, por sua vez, assim se referiram à natureza da ciência: “Tipicamente, NOS se refere à epistemologia e à sociologia da ciência, à ciência como uma forma de conhecimento, ou aos valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento” (Lederman, Abd-el-Khalick, Bell & Schwartz, 2002, p. 498).

Matthews (1998) argumentou que é preciso ter objetivos modestos quando se trata do ensino da natureza da ciência. Segundo ele, não seria realista esperar que alunos, ou mesmo professores em formação, se tornem “competentes historiadores, sociólogos ou filósofos da

¹ Autores de língua inglesa utilizam a sigla “NOS”, de *nature of science*.

ciência” (Matthews, 1998, p. 168): o que se deve buscar é que desenvolvam uma compreensão mais complexa da ciência, a qual não seria uma “compreensão total”, nem mesmo uma “compreensão muito complexa” (*idem*).

Refletindo, de certa forma, as controvérsias que existem entre diferentes correntes da filosofia da ciência, também no que se refere ao que constitui a natureza da ciência há discussão entre os educadores. Assim, alguns autores propuseram tentativas de consenso acerca do que constituiria a natureza da ciência. McComas *et alii* (1998) resumiram o que seria uma visão consensual na seguinte lista de tópicos:

- Embora o conhecimento científico seja duradouro, tem caráter tentativo.
- O conhecimento científico se apoia fortemente, mas não inteiramente, em observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo.
- Não existe um modo único de se fazer ciência (portanto, não existe um método científico universal, passo-a-passo).
- A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais.
- Leis e teorias desempenham papéis diferentes na ciência; portanto, os estudantes deveriam perceber que as teorias não se tornam leis, mesmo com evidências adicionais.
- Pessoas de todas as culturas contribuem com a ciência.
- Conhecimento novo deve ser relatado de maneira clara e aberta.
- Cientistas necessitam de registros cuidadosos, revisão por pares, e reprodutibilidade.
- Observações são guiadas por teorias.
- Cientistas são criativos.
- A história da ciência revela tanto um caráter evolucionário quanto revolucionário.
- A ciência faz parte das tradições sociais e culturais.
- A ciência e a tecnologia têm impacto recíproco.
- Ideias científicas são afetadas por seu meio social e histórico (McComas *et alii*, 1998, p. 6-7).

Lederman (2004) reconheceu a inexistência de consenso entre filósofos, historiadores da ciência, cientistas e educadores em torno de uma definição particular a respeito da natureza da ciência. Propôs, então, uma lista de sete elementos da natureza da ciência que, segundo ele, preencheriam alguns critérios considerados fundamentais: seriam acessíveis aos estudantes; teriam ampla aceitação por historiadores e filósofos da ciência; e seriam úteis para a formação de cidadãos. Os sete elementos da natureza da ciência, propostos por Lederman e seu grupo, são, resumidamente: (1) o caráter empírico da ciência; (2) a distinção entre leis (afirmações

que descrevem relações entre fenômenos observáveis) e teorias (explicações que se inferem dos fenômenos observados); (3) o caráter criativo do conhecimento científico; (4) a teoria como guia do conhecimento científico; (5) a influência mútua entre o contexto sociocultural e o conhecimento científico que é produzido; (6) a inexistência de um método científico único; (7) a natureza tentativa do conhecimento científico (Lederman *et alii*, 2002, p. 500-502). Com base nessa lista, Lederman e seu grupo elaboraram uma série de questionários chamados de VNOS (“Views of Nature of Science”, ou visões sobre a natureza da ciência), que têm sido utilizados para avaliar a eficiência do ensino da natureza da ciência. Niaz (2009) também apresentou sua própria lista que caracterizaria o consenso sobre a natureza da ciência, semelhante, mas não idêntica, à de McComas *et alii* (1998).

Essa visão consensual, embora amplamente aceita, não está livre de críticas. Irzik e Nola (2011) consideraram que a lista de características apontadas pelo grupo de Lederman resulta em um retrato muito incompleto da ciência, no qual estão ausentes os objetivos e aspectos metodológicos da ciência. Além disso, a visão de consenso não contemplaria as diferenças que existem entre as diferentes disciplinas científicas, nem as transformações que a ciência experimenta ao longo do tempo, em termos de metodologias e valores. Tendo como referência a filosofia de Ludwig Wittgenstein², Irzik e Nola (2011) recorreram ao conceito de “semelhança de família” para propor uma alternativa à visão consensual da natureza da ciência. Resumidamente, na proposta de Irzik e Nola se constata que, embora as diferentes disciplinas científicas tenham características distintas, também há uma série de semelhanças, entrecruzamentos e sobreposições entre elas, o que lhes dá uma unidade. Assim, os autores propuseram quatro categorias, que dariam uma descrição estrutural da natureza da ciência: (1) atividades; (2) objetivos e valores; (3) metodologias e regras metodológicas; e (4) produtos. Cada categoria reuniria uma série de características da ciência, a qual não seria fixa, pois novas características poderiam vir a ser acrescentadas (os autores admitiram que a própria lista de categorias poderia ser, eventualmente, ampliada). Assim, cada disciplina científica se caracterizaria por um subconjunto de características, retiradas de cada uma das categorias. Ou seja, nem todas as disciplinas científicas compartilhariam todas as características listadas, mas a comparação entre duas disciplinas científicas revelaria características comuns e outras que não são compartilhadas – mas todas as diferentes disciplinas se assemelhariam por pertencerem a uma “família” que compartilha características. Com essa abordagem, Irzik e Nola (2011) acreditaram poder contornar as críticas formuladas por eles à visão consensual.

² Sobre diversas possibilidades de aplicação da filosofia de Wittgenstein ao ensino de ciências, vide: J. Góis da Silva, 2012.

Outra crítica à caracterização feita pelo grupo de Lederman provém de Matthews (2012). Este autor observou que a lista de características apontadas foi adotada por alguns educadores em ciências como uma espécie de lista de “mandamentos”, para ser afixada nas paredes de salas de aula. Embora veja como positivo o fato de a natureza da ciência estar presente nas escolas, Matthews criticou o fato dessa lista se tornar apenas mais alguma coisa a ser memorizada – contrariando o que seria o objetivo primordial da introdução da natureza da ciência nos currículos, que seria fomentar o pensamento crítico. Além disso, Matthews (2012) teceu outras objeções à proposta de Lederman, especialmente por esta não contemplar divergências existentes na filosofia da ciência, como o estatuto do “caráter empírico” da ciência, por exemplo. Como alternativa à proposta de Lederman, Matthews propôs uma mudança de enfoque e de terminologia, substituindo a “natureza da ciência” (que teria, segundo ele, um enfoque mais epistemológico) por “características da ciência”³, que abrangeria também aspectos contextuais e axiológicos. As características da ciência incluiriam os sete elementos descritos por Lederman, mas abrangeriam também a experimentação, a idealização, a modelagem, as questões de valor, a matematização, a tecnologia, as visões de mundo e a religião, a escolha de teorias e a racionalidade, o feminismo, o realismo e o construtivismo, entre outras. Segundo Matthews, a lista pode ser estendida, acrescentando-se outras características da ciência que se julgar importantes.

Matthews (1998, 2012) chamou a atenção para outro ponto importante: o professor de ciências não pode ter como objetivo *doutrinar* seus alunos para alguma concepção particular a respeito da natureza da ciência, reduzindo-a a opiniões a serem repetidas. Isso equivaleria a contrariar uma das finalidades do ensino de ciências, que é estimular o pensamento crítico – e a história e a filosofia da ciência podem contribuir com instrumentos para desenvolver esse tipo de pensamento. Nesse contexto, tendemos a concordar com a proposta de se considerar o ensino de características da ciência como algo mais amplo do que as concepções anteriores sobre natureza da ciência, no sentido de contemplar aspectos relacionados a contextos particulares de diferentes épocas e de diferentes disciplinas científicas. O conceito de semelhança de família, defendido por Irzik e Nola (2011), merece ser considerado pela comunidade de educadores em ciências interessados nessa temática, pois pode ser útil para a construção de uma visão não dogmática e mais abrangente a respeito da natureza da ciência. Outro aspecto a ser considerado é a especificidade das diferentes disciplinas científicas. Estudos recentes em filosofia da química (Schummer, 2010; Baird, Scerri & McIntyre, 2006;

³ A expressão proposta em inglês por Matthews (2012) é “*features of science*”, abreviada pela sigla FOS.

Scerri, 2008; Bhushan & Rosenfeld, 2000) vêm mostrando as peculiaridades dessa ciência, e como ela se diferencia, em aspectos fundamentais, da física – que durante muito tempo foi considerada como o “exemplar” de ciência, e tomada como modelo para as demais.

Tendo em vista esses referenciais, entendemos que o ensino de ciências poderia contemplar uma visão da ciência como um empreendimento cheio de complexidade. Para vislumbrar essa complexidade, o educador em ciências precisa focar casos específicos e analisá-los com alguma profundidade, sem ter a pretensão de formular explicações, receitas metodológicas ou prescrições que alcancem abrangência universal. A análise de casos particulares, buscando características que sejam relevantes e tenham significado abrangente (ainda que não universal), se constitui em oportunidade de exercitar e desenvolver o pensamento crítico e criativo, que se colocam como objetivos para o ensino de ciências na atualidade.

Considerando essa concepção, a história da ciência pode fornecer os casos que servirão para os educadores motivarem as discussões em situações de ensino. Que a história da ciência possa oferecer essa contribuição é uma posição que já foi defendida tanto por historiadores da ciência como por educadores (Maienschein, 2000; Seroglou & Koumaras, 2001; Holton, 2003; Duschl, 2005; Gooday *et alii*, 2008). Nas palavras do destacado historiador da química, Allen G. Debus:

Acredito que seja importante – talvez essencial – para um estudante compreender o papel da ciência em nosso mundo – e acredito que a melhor maneira de se fazer isso é através da história. Este é um recurso precioso para os estudantes entenderem os fatores que afetam a mudança de visão do homem a respeito da natureza [...] (Debus, 1971, p. 804).

Outro historiador da ciência, Roberto Martins (2006), defendeu que, através de estudos de casos minuciosos em história da ciência, pode-se desenvolver a compreensão da complexa relação ciência, tecnologia e sociedade, demonstrando que a ciência não é uma atividade isolada de todas as outras, mas parte de um contexto no qual influencia e é influenciada. Dessa forma, o aluno teria a oportunidade de observar que a ciência resulta de um processo social (coletivo) e gradativo de construção do conhecimento, que possui suas limitações e procedimentos intrincados – ou seja, que a ciência não aparece, repentinamente, na mente de “gênios” isolados que geram o conhecimento. Assim, o estudo histórico de como um cientista realmente desenvolveu sua pesquisa ensinaria mais sobre o real processo científico do que qualquer manual de metodologia científica. Martins (2006) também defendeu a idéia de que o estudo detalhado de alguns episódios da história da ciência é insubstituível na formação de

uma concepção adequada sobre a natureza das ciências, incluindo suas limitações e suas relações com outros campos da cultura.

No periódico *Isis*, o mais antigo e prestigioso da área de história da ciência, Gooday *et alii* (2008) publicaram um artigo defendendo a aproximação entre a história da ciência e o ensino. Segundo os autores, a

exposição à história da ciência ajuda os estudantes a considerar a ciência como uma carreira para pensar, questionar e explorar os conceitos e ramificações de tópicos amplos, habilitando os estudantes a apreender o que é a ciência e como ela é conduzida. (...) Acreditamos que a história da ciência cultiva formas particularmente importantes de conhecimento e de compreensão acerca da ciência, que não podem ser obtidas, de maneira tão efetiva, por nenhum outro meio (Gooday *et alii*, 2008, p. 323, 324).

Em outro artigo, Gooday (2010) acrescentou o argumento de que

estudar a história da ciência é importante para permitir que os estudantes compreendam como casos bem conhecidos de fraudes, corrupção, vieses e enganos entre cientistas surgiram em resposta às enormes expectativas públicas, acadêmicas e corporativas que se depositam sobre a comunidade científica (Gooday, 2010, p. 1).

Do lado dos educadores em ciência, pode-se sumarizar as opiniões a respeito da inserção da abordagem histórica no ensino de ciências citando Matthews (1994). Esse autor apontou que a história da ciência pode: humanizar as ciências e relacioná-las aos interesses éticos, culturais e políticos; deixar as aulas mais estimulantes e reflexivas, desenvolvendo o pensamento crítico dos alunos; contribuir para uma compreensão maior dos conteúdos científicos; e melhorar a formação dos professores, contribuindo para o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica em sala de aula. Justi e Gilbert (1999a), e Wandersee e Griffard (2002), resumiram em quatro pontos as vantagens da inclusão da história da ciência no ensino: (1) ensinar aos estudantes a respeito da natureza da ciência; (2) permitir aos professores explorar eventuais paralelos entre o desenvolvimento de concepções dos estudantes e o desenvolvimento histórico do mesmo assunto; (3) estimular o pensamento crítico dos estudantes; e (4) permitir aos professores a resolução de certos problemas práticos, como a integração transversal do conhecimento no currículo.

Em relação ao possível paralelismo entre as transformações das ideias dos estudantes e a construção de conceitos no passado, é preciso ter muito cuidado. Piaget e Garcia (1987) advertiram que não se trataria de

estabelecer correspondência entre as sucessões de natureza histórica com as que revelam as análises psicogenéticas, ressaltando os conteúdos, mas, o que é completamente diferente, mostrar que os mecanismos de passagem de um período histórico ao seguinte são análogos aos da passagem de um estágio psicogenético ao seguinte (Piaget & Garcia, 1987, p. 39).

Ou seja: o que Piaget e Garcia sugeriram não se referia a uma construção paralela de conteúdos na história e na mente dos estudantes, mas a uma similaridade nos processos cognitivos (Bizzo, 1992). Considerando que, posteriormente, as ideias de Piaget sofreram uma série de elaborações e críticas por parte de outros pesquisadores, a questão de um suposto paralelismo deve ser vista com atenção. Para usar a expressão feliz sugerida por Alfonso-Goldfarb, os alunos não devem ser tratados “como *pequenos gregos* que devem ser transformados em *juvens Newtons*” (Alfonso-Goldfarb, 1994, p. 88). Embora autores como Furió-Más *et alii* (1987) tenham defendido ideias como a de que os materiais didáticos de química dos gases devem procurar substituir a “concepção aristotélica” dos gases por uma “concepção atômica”, outros estudos mostraram que as chamadas concepções “aristotélicas” de crianças têm, na realidade, pouca coisa em comum com os sistemas conceituais coerentes e complexos dos antigos filósofos (Lythcott, 1985; Saltiel & Viennot, 1985). A esse respeito, a opinião de Gagliardi (1988) é ponderada:

A história das ciências pode dar “pistas”, mas não elimina a análise concreta dos alunos ... Queremos dizer com isso que o aluno atual vive, pensa, constrói seus conhecimentos em uma sociedade diferente da qual se produziram os conhecimentos que se deve reproduzir em aula. Quer dizer que *não é similar aos cientistas*. No entanto, está claro que conhecer quais foram os entraves para desenvolver socialmente certos conhecimentos pode ser muito útil para compreender as dificuldades dos alunos (Gagliardi, 1988, p. 293, grifo no original).

Assim, observa-se a necessidade de que o educador esteja adequadamente capacitado a lidar com a história da ciência. Matthews, porém, já advertiu que a formação em história e filosofia da ciência está, em geral, ausente dos programas de formação de professores (Matthews, 2012, p. 15). Esse ponto merece ser olhado com atenção. Em nosso entender, oferecer ao professor uma formação em história da ciência não pode se limitar à discussão de episódios históricos, e das características da ciência subjacentes a esses episódios. Tais discussões são, evidentemente, necessárias e muito importantes – mas não suficientes. O professor em formação precisa, também, ser introduzido a discussões meta-históricas, ou seja, discussões de caráter historiográfico. Em outras palavras, o educador precisa estar familiarizado com a ideia de que o modo de se “narrar” a história da ciência muda com o

tempo e com o contexto social. Por exemplo, um texto sobre a obra científica de Lavoisier, produzido no início do século XX, é diferente de um texto produzido por outro historiador da ciência, sobre o mesmo tema, no final do mesmo século – ainda que esses dois hipotéticos historiadores tivessem a sua disposição as mesmas fontes históricas (livros, cartas, manuscritos, equipamentos, etc.). Isso porque a maneira de se compreender a história da ciência se modificou com o tempo, e o educador também precisa ser capaz de identificar vieses historiográficos. Esse tema é desenvolvido no capítulo que se segue.⁴

⁴ O Capítulo 1 incluiu partes publicadas em Porto, 2010a.

Capítulo 2 – Implicações da historiografia da ciência para o ensino de química

Introdução

Recomendações para a inclusão da história da ciência nos currículos de ciência, e em particular, nos currículos voltados para a formação de professores, podem ser observadas em diversos países – em alguns casos, há décadas; em outros, a discussão é mais recente. Não se pode deixar de considerar, porém, que os objetivos educacionais de décadas atrás não são os mesmos da atualidade; e, analogamente, as concepções a respeito da própria história da ciência se modificaram ao longo do tempo.

No Brasil, o uso da história no ensino de química já fora recomendado pela Reforma Francisco Campos de 1931. É claro que o uso sugerido reflete a visão positivista da ciência, então ainda predominante entre os historiadores da área:

Ao professor ainda compete referir, abreviadamente, a propósito das descobertas mais notáveis da Química, a evolução dos conceitos fundamentais através dos tempos, revelando aos alunos os grandes vultos da história, a cuja tenacidade e intuição deve a civilização contemporânea, além da satisfação espiritual de dilatar o conhecimento do mundo objetivo, o curso dos processos químicos em benefício da saúde, das comodidades da vida, da defesa e do desenvolvimento das nações (Campos, 1931).

É importante observar que, já na década de 1930, se entendia que o ensino de Química não deveria se constituir apenas no ensino de conteúdos: existia a preocupação com o ensino de valores relativos à ciência e de aspectos de sua produção histórica. A forma como essa produção era entendida – linear, acumulativa, feita por “gênios” (os “grandes vultos da história”), apontando para o “progresso” – entretanto, é bem diferente de como entendemos o processo da ciência na atualidade.

Pode-se ter um exemplo disso observando um documento posterior, a Proposta Curricular para o Ensino de Química (1988) da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, publicada ainda sob a vigência da lei 5692/71. Essa Proposta contemplou também a preocupação com o uso da história. Refletindo, porém, as tendências atuais da história da ciência, esse documento propõe um enfoque que é bastante diferente da citação anterior:

consideramos a história não como uma mera coleção de erros a serem evitados, o que levaria à afirmação de que a ciência é quase que perfeita, um “verdadeiro” espelho da natureza, mas ... [consideramo-la] como um referencial onde acertos e erros convivem, permutando seus status, num processo de idas e voltas constantes, ora a caminho do que entende por progresso, ora da dúvida. O estudo de História

da Ciência, sugerido para determinados momentos do programa, possibilita a descrição da elaboração do processo científico com os conflitos que o acompanham... Considera-se, entretanto, que não se apresente a sequência histórica como uma sequência linear e progressiva, simples registro de datas, nomes ou fatos históricos, ou mesmo que não se tire a sequência de conteúdos em função da cronologia, em detrimento de seus aspectos didáticos (São Paulo [Estado], 1988).

A nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei 9394/96, de 20/12/1996), atualmente em vigor, apontou caminhos a serem trilhados em todos os níveis educacionais – em um momento histórico de muitas e rápidas transformações. A partir dessa lei, observa-se uma reorientação no sentido de se compreender o conhecimento científico-tecnológico como portador de uma história, e como resultado de processos complexos de elaboração. Esses aspectos, no entanto, não estão explícitos no texto da lei: eles são observados nos instrumentos posteriores à nova LDBEN, tais como os pareceres, diretrizes e parâmetros curriculares oficiais. Para não nos afastarmos da temática do ensino de química, vamos focar a seguir as recomendações oficiais para os cursos de química. Observações semelhantes, porém, poderiam ser feitas em relação à formação de profissionais para as áreas de física, biologia ou matemática.

O Parecer 1303/2001, da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação (CNE/CES), regulamentou as “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, abrangendo tanto os cursos de bacharelado como os de licenciatura em química. Nesse documento, observa-se a preocupação com a dimensão histórica do conhecimento no processo de formação dos profissionais da área de química. Em seu Subtítulo 2, “Competências e Habilidades”, itens 2.1 (Bacharel em Química) e 2.2 (Licenciado em Química), subitem “Com relação à compreensão da Química”, o Parecer regulamenta que esses profissionais devem “reconhecer a Química como uma construção humana e compreender os aspectos históricos de sua produção e suas relações com os contextos culturais, socioeconômico e político”. No que tange ao Licenciado em Química, subitem “Com relação à formação pessoal”, o Parecer 1303/2001 prevê que esse profissional deve “ter uma visão crítica com relação ao papel social da Ciência e à sua natureza epistemológica, compreendendo o processo histórico-social de sua construção”. Finalmente, no subitem “Com relação ao ensino de Química”, consta que o docente deve ser capaz de “compreender e avaliar criticamente os aspectos sociais, tecnológicos, ambientais, políticos e éticos relacionados às aplicações da Química na sociedade” (Brasil, 2001).

Os excertos citados são bastante expressivos para demonstrar a posição normativa do Conselho Nacional de Educação em relação à presença da dimensão histórica da ciência na formação dos profissionais de química. A concepção subjacente ao texto é a de que a história da ciência não deve ser apenas um ornamento curricular: é a própria natureza do processo de elaboração da ciência que impõe a presença da sua história. Ao se analisar a sucinta relação de conteúdos curriculares recomendados no Parecer, entretanto, não se observa a história da ciência (ou história da química) entre os conteúdos básicos ou específicos para a formação do químico. Há referência à história no item 4.3 “Estágios e Atividades Complementares”:

São conteúdos complementares os essenciais para a formação humanística, interdisciplinar e gerencial. As IES deverão oferecer um leque abrangente de conteúdos e atividades comuns a outros cursos da instituição para a escolha dos estudantes. Sugerem-se, para este segmento curricular, conteúdos de filosofia, história, administração, informática, instrumental de língua portuguesa e línguas estrangeiras, dentre outros (Brasil, 2001).

Assim, se por um lado – ao definir o perfil do químico – há um forte compromisso com a necessidade da abordagem histórica, por outro lado – ao especificar conteúdos – os responsáveis pelo Parecer deixam vago o âmbito em que as competências e habilidades relativas à história da ciência devem ser desenvolvidas. A falta de uma definição mais explícita pode dificultar a concretização do perfil idealizado. Para preencher essa lacuna, será necessário que os formadores discutam, por exemplo, em que momento(s) os licenciandos em química refletirão sobre a história da ciência, e qual(is) o(s) momento(s) mais propício(s) para isso.

A necessidade de o licenciado conhecer aspectos da história da ciência está explícita, também, em outro instrumento da política educacional brasileira: os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* – PCNEM (Brasil, 1999). Esse documento traz diversas menções ao uso da história da ciência no ensino das ciências da Natureza e de matemática. Os PCNEM ressaltam a importância da história da ciência para a contextualização dos conhecimentos, para a compreensão do caráter dinâmico do conhecimento científico, para a discussão das relações entre os fenômenos observáveis e os modelos explicativos, bem como para auxiliar o processo de construção e reconstrução dos conceitos por parte dos alunos. (Brasil, 1999: pp. 9, 14, 53, 66 *et passim*). Em outro documento, complementar aos PCNEM, essas diretrizes foram reafirmadas: referimo-nos aos *PCN+ Ensino Médio – Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais* (Brasil, 2002). Considerando especificamente o caso da química, pode-se observar nos PCN+ que algumas

competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos do ensino médio envolvem a história da ciência. De acordo com os autores,

É fundamental que se mostre através da história, as transformações das ideias sobre a constituição da matéria, contextualizando-as. A simples cronologia sobre essas ideias, como é geralmente apresentada no ensino, é insuficiente, pois pode dar uma ideia equivocada da ciência e da atividade científica, segundo a qual a ciência se desenvolve de maneira neutra, objetiva e sem conflitos, graças a descobertas de cientistas, isoladas do contexto social, econômico ou político da época (Brasil, 2002, p. 96).

Um exemplo de competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos é o seguinte:

Contextualização sócio-cultural

Na área [*de ciências da Natureza, matemática e suas tecnologias*]: Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.

Em química:

Reconhecer e compreender a ciência e tecnologia químicas como criação humana, portanto inseridas na história e na sociedade em diferentes épocas; por exemplo, identificar a alquimia, na Idade Média, como visão de mundo típica da época.

Perceber o papel desempenhado pela Química no desenvolvimento tecnológico e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história; por exemplo, perceber que a manipulação do ferro e suas ligas, empírica e mítica, tinha a ver, no passado, com o poder do grupo social que a detinha, e que hoje, explicada pela ciência, continua relacionada a aspectos políticos e sociais (Brasil, 2002, p. 92).

Está claro que, a fim de que os alunos desenvolvam essas competências e habilidades, é necessário que o professor de química não apenas as domine, mas também que esteja capacitado a utilizar estratégias didáticas que possibilitem seu desenvolvimento junto aos estudantes. Isso inclui a capacidade de analisar criticamente textos de história da ciência, identificando (e refletindo sobre) as tendências historiográficas subjacentes a cada texto, e decidindo sobre como utilizar as informações contidas nas fontes analisadas. Nesse ponto, consideramos necessário fazer uma breve exposição a respeito de algumas concepções historiográficas com as quais o professor de ciências precisaria estar familiarizado.

A nova historiografia da ciência

Nas primeiras décadas do século XX, teve início o processo de desenvolvimento da história da ciência como uma área institucionalizada e profissional, com a criação de cursos e

departamentos, o surgimento de periódicos especializados, e a publicação de grandes tratados. O principal articulador desse movimento foi o matemático belga George Sarton, radicado nos EUA a partir de 1915. Sarton foi o fundador, e por muitos anos editor, do periódico *Isis*, a mais antiga publicação especializada em história da ciência. As concepções de Sarton acerca da história da ciência eram típicas do período em que viveu, e suas perspectivas metodológicas e historiográficas foram seguidas por um longo tempo no meio acadêmico (Kragh, 1987). Na virada do século XIX para o XX, as tendências epistemológicas tendiam para as idéias de pensadores como E. Mach e P. Duhem, de visão marcadamente positivista, pressupondo um desenvolvimento contínuo e acumulativo da ciência, baseado na evolução interna da ciência. Um processo considerado único, progressivo, inevitável, seguindo uma linha lógica, coerente com as verdades exibidas pela Natureza, no qual não se concebiam descontinuidades ou rupturas. Acreditava-se que contingências históricas tivessem atrasado ou interrompido o progresso da ciência, mas que este fora sempre retomado, até que se alcançou o estágio atual do conhecimento (Alfonso-Goldfarb *et al.*, 2004, p. 50). Era uma trajetória na qual se contabilizavam os erros, que desviavam do caminho, e os acertos, que apontavam o caminho correto. Estudos feitos por pensadores do passado, que apontaram vias frutíferas para o conhecimento, eram considerados *protociências* ou *pré-ciências*. Outros estudos, que não contribuíram para a evolução que trouxe até a ciência moderna, eram descartados como *pseudociências*. Nesse crescimento linear, a Grécia antiga representava a infância da ciência; o medievo e o Renascimento eram a juventude, precedendo a maturidade atingida pela ciência na época atual.

Assim, as ciências de outras épocas eram avaliadas como se o passado tivesse como objetivo o conhecimento presente, seguindo uma única linha que culminaria com a ciência atual. Ao longo dessa linha contínua eram identificados os precursores das diferentes disciplinas e conceitos: os chamados “pais” da ciência. Era uma pesquisa que se iniciava nas ideias do presente e regredia, buscando os “pais”, “avós” e “bisavós” em cada ramo da ciência. Atualmente, avalia-se essa abordagem como anacrônica, pois escolhia no passado aspectos que somente se sobressaíam devido ao uso de critérios do presente, e que não podiam ser imaginados no período em que o conhecimento foi gerado (Canguilhem, 1972). Essa abordagem foi chamada de “história whig”, após o termo ter sido utilizado pelo

historiador Herbert Butterfield em seu livro *The whig interpretation of history* (1931), ou, também, “presentismo”.⁵

Outra característica dessa antiga abordagem historiográfica era a consideração, apenas, de fatores internos à própria ciência, como seus conceitos e questões. De acordo com essa perspectiva internalista, o entorno social, político, econômico, etc., no qual a ciência foi desenvolvida, não seria relevante. Afinal, como a ciência progrediria guiada pela lógica das próprias verdades da Natureza, seu desenvolvimento se daria independente das circunstâncias externas de cada sociedade.

Na década de 1930, porém, em um congresso de história da ciência realizado em Londres, a comitiva soviética apresentou trabalhos que problematizavam a influência de aspectos sociais no âmbito da construção do conhecimento científico – inaugurando assim um intenso debate a respeito da complexa interação da ciência com fatores externos (Alfonso-Goldfarb *et al.*, 2004, pp. 51 – 52; Debus, 1991a). A abordagem externalista fez com que aspectos como religião, cultura, política e ambiente social fossem, com o passar do tempo, definitivamente incorporados à historiografia da ciência – de tal forma que o conflito entre “internalismo” e “externalismo” se encontra hoje inteiramente superado entre os historiadores da ciência, com o reconhecimento de que ambos os aspectos são necessários para a compreensão da complexidade da transformação do pensamento científico ao longo da história. Entretanto, a abordagem sociológica da ciência produziu também, nas últimas décadas, uma interpretação de acordo com a qual tudo, na ciência, se constitui de construções sociais, desprezando as influências da Natureza nessas construções. Não concordamos com esta abordagem sociológica radical, nem do ponto de vista da produção de conhecimento em história da ciência, nem da conveniência em utilizá-la no ensino de ciências. Preferimos nos alinhar a autores como Pickstone (1995) e Martins (2004), que consideram que o uso de conhecimentos científicos atuais pode enriquecer a interpretação de ideias e relatos do passado, sem perder de vista a ciência como fenômeno cultural e sem incorrer em anacronismos.

Mudanças de enfoque na historiografia da ciência foram se desenvolvendo nas décadas de 1950 e 1960, em trabalhos como os de W. Pagel e F. Yates. Até então, o foco principal dos trabalhos em história da ciência se dava em torno das ciências físicas. Gradualmente, o foco foi se abrindo para outras áreas do conhecimento, de modo que saberes

⁵ Ao longo do século XX, o “whiggismo” passou a ser tão combatido, que algumas críticas passaram a ser exageradas. Conforme argumentou o historiador T. Nickles, “Agora que foi atingida a maturidade, e o positivismo foi derrotado, podemos prever que o *antiwhiggismo* já fez o que devia fazer. Hoje em dia ele traz mais prejuízos do que benefícios” (Nickles, 1995).

e personagens ligados a outras disciplinas e ofícios passam a ser considerados como igualmente relevantes. Mesmo conhecimentos que anteriormente eram desconsiderados, ligados a áreas que se afastaram da ciência atual (como a magia e a astrologia, por exemplo), passaram a ser estudados. Observou-se, portanto, uma diluição das linhas que separavam as chamadas *protociências* das *pseudociências*. Os conhecimentos esquecidos, exilados, ou mesmo deformados, passaram a ter relevância no quadro geral dos saberes sobre a Natureza. Essa abordagem passou a ter maior aceitação a partir da década de 1970, quando foi inevitável uma reformulação mais profunda na historiografia da ciência.

Outro debate que contribuiu para transformar profundamente o modo como se entende a história da ciência foi aquele em torno do desenvolvimento contínuo da ciência. Gaston Bachelard (1884 – 1962), filósofo francês, foi um dos primeiros a propor, partindo de alguns exemplos históricos, que a ciência não evoluiria de maneira linear e contínua, mas por meios de “saltos” – ou seja, ao longo da história teria havido, em algumas ocasiões, o rompimento com uma forma de pensar anterior e sua substituição por outra (Bachelard, 1996 [1938]). Essa ideia não agradou a muitos filósofos contemporâneos de Bachelard, mas abriu caminho para estudos relativos à descontinuidade na ciência, principalmente nas décadas de 1940 e 1950. Marco importante nesse debate foi a polêmica obra de Thomas S. Kuhn, *A estrutura das revoluções científicas* (*The Structure of Scientific Revolutions*) (Kuhn, 1990 [1962]). O modelo proposto por Kuhn não está livre de problemas: tendo sido construído a partir de uma determinada perspectiva da história das ciências físicas, o modelo não dá conta da especificidade do desenvolvimento de outras áreas da ciência (vide, por exemplo, Debus, 1991b). Outra dificuldade reside na constatação da existência de tênues linhas de continuidade na prática da ciência, mesmo em momentos de mudanças revolucionárias (Alfonso-Goldfarb *et al.*, 2004, pp. 52-60; Canguilhem, 1977, pp. 19-23). Entretanto, a contribuição de Kuhn foi bastante influente, e os historiadores da ciência passaram a se interessar cada vez mais pela especificidade de cada momento histórico, buscando compreender os significados das ideias científicas no contexto histórico em que foram formuladas, e identificando as sutilezas da trama de continuidades e rupturas.

Sumarizando, até um passado não muito distante, predominava um modelo de se narrar a história da ciência sob uma perspectiva enciclopédica, internalista, continuísta e acumulativa. Era um modelo essencialmente anacrônico, pois abordava a história “de trás para a frente”, buscando estabelecer no passado linhas de continuidade que trouxessem até aos conceitos existentes no presente. Buscava-se, assim, os “precursores” das ideias estabelecidas na ciência atual. Além disso, esse tipo de história da ciência era baseado

unicamente na perspectiva internalista, ou seja, fechada em torno das ideias da própria ciência. Essa historiografia antiga podia contribuir com um ensino de ciências mais “dogmático”, mais voltado para a transmissão cultural; ou mesmo para um ensino mais voltado para emular a atividade científica – o qual acabou por se mostrar uma idealização do que seria o fazer ciência, e não um reflexo do que ocorria nos laboratórios de pesquisa.⁶ Não se presta, entretanto, para o tipo de ensino de ciências delineado para o momento atual. Ou seja: se o que se pretende é formar estudantes críticos, capazes de compreender as complexidades da atividade científica, então a nova historiografia da ciência tem muito para contribuir nesse processo.

A abordagem contemporânea dos historiadores da ciência se volta para a análise pontual e minuciosa de estudos de caso, buscando identificar a especificidade de episódios e documentos. Nesse processo, contempla-se a contextualização das ideias, procurando-se seu significado no seio do pensamento característico do período estudado. Com relação à antiga tensão entre as versões continuístas e descontinuístas, no desenvolvimento da ciência, a nova historiografia da ciência supera essa dicotomia, considerando tanto a continuidade, quanto as rupturas, em diferentes níveis superpostos (Canguilhem, 1977, pp. 23-25). Contempla, também, as particularidades das interpretações das várias fontes que contribuíram para o desenvolvimento de uma determinada obra científica. Essas fontes não se restringem ao âmbito interno da ciência, mas os historiadores vêm demonstrando a importância de outras tradições intelectuais (como a das artes e ofícios, da magia, etc.) no desenvolvimento do conhecimento científico moderno, bem como o impacto de outros tipos de fatores externos, de natureza psicológica e social. Ao fazer essa abordagem, as relações entre os casos particulares estudados, e o contexto mais amplo da história da ciência, adquirem novos significados, que melhor caracterizam a complexidade do empreendimento científico ao longo dos tempos. Além disso, concordamos com os historiadores da ciência que levam em consideração a influência parcial da Natureza no processo social de construção da ciência. Acreditamos que reflexões sobre questões historiográficas como estas possam contribuir para a formação de educadores em ciência, no sentido de auxiliá-los a desenvolverem abordagens para a história da ciência no ensino que estejam de acordo com os objetivos educacionais da atualidade.

Educadores em ciências diante da história da ciência – uma longa discussão

⁶ Uma breve revisão das tendências internacionais na didática das ciências pode ser encontrada em Schnetzler (2002, pp. 15 – 17).

Já no início do séc. XVII, Francis Bacon defendia que, para se entender a ciência, seria necessário estudar a sua história. Outros tantos propuseram o mesmo em outras épocas, mas este argumento esbarra na simples questão da impossibilidade de ser levado à risca, em função da grande massa de informação histórica que haveria de acompanhar o ensino da ciência. Assim, tornam-se inevitáveis as adaptações e seleções de fatos, eventos e histórias que seriam mais relevantes ou desejáveis para o ensino. Muitas vezes, os educadores em ciência constroem as sequências didáticas dentro da lógica positivista de ressaltar apenas os aspectos da ciência que historicamente prosperaram, e que contribuíram para a ciência atual. Dentro de uma perspectiva de que o objetivo do ensino de ciências se encontra nos seus produtos, e de que tratar detalhadamente seus processos é inviável, resulta que estudar as variantes da ciência que não deram certo seria inútil. Nas décadas de 1960 e 1970, foram utilizados alguns termos para fazer referência à história da ciência recontada pelos livros didáticos, entre os quais *pseudo-história* e *quasi-história*. O uso desses termos será discutido a seguir, tendo como referências a nova historiografia da ciência e suas implicações para os educadores em ciências.

Conforme visto na seção anterior, a historiografia da ciência experimentou grandes transformações ao longo do século XX. As discussões estabelecidas entre os historiadores da ciência acabaram por repercutir, de alguma forma, também junto à comunidade dos educadores em ciência interessados em aproximar a história da ciência do ensino. Exemplo nesse sentido foi o seminário *History in the Teaching of Physics*, realizado em julho de 1970 no *Massachusetts Institute of Technology* (EUA), reunindo físicos, educadores em física e historiadores da ciência. Entre as conclusões do seminário, constavam recomendações para que materiais históricos fossem utilizados por professores de física em seus cursos, e também na própria formação de professores (Arons, 1973). Havia, entretanto, vozes dissonantes – representadas por Martin Klein, cuja apresentação foi posteriormente publicada nos anais do seminário (Brush & King, 1972). Nesse trabalho, Klein – definido por outro participante do seminário como um “purista” da história da ciência (Holton, citado por Arons, 1973) – defendeu a opinião de que a história da ciência é incompatível com o ensino de ciência. Klein argumentou que há diferenças fundamentais entre as ciências da Natureza e a história, e que a aproximação entre essas duas formas de conhecimento resultaria em distorção em alguma das duas. Segundo Klein, o cientista busca a essência dos fenômenos, deixando de lado todas as circunstâncias acessórias relacionadas à época, local e observador; para o historiador, por outro lado, as circunstâncias e seus detalhes são fundamentais para a compreensão do processo histórico. Haveria, assim, uma contradição fundamental. Klein afirmou que o

interesse do professor de ciência, ao abordar a história, seria selecionar cuidadosamente as idéias relacionadas à ciência atual, pois seu objetivo seria ensinar as teorias e as técnicas da ciência contemporânea. Ao fazer essa seleção, o professor estaria necessariamente distorcendo a história – ou, em outras palavras, produzindo uma “pseudo-história”. Klein escreveu:

a história da física não pode ser recortada, selecionada, e moldada com o objetivo de incorporá-la a um curso de física, sem que ela seja transformada, nesse processo, em alguma coisa menos do que história (Klein, 1972).

A postura de Klein foi bastante criticada, mas merece ser analisada com atenção. Ela reflete, ainda que de maneira extrema, o reconhecimento de que a história da ciência adquiria novos contornos naquela época, e incorporava discussões e maneiras de abordar o processo histórico que não podiam ser resumidas na forma de “crônicas” que narrassem a marcha linear e triunfal rumo às idéias do presente.

A discussão prosseguiu nos anos seguintes. Um dos organizadores dos anais do seminário citado acima, Stephen Brush, publicou em 1974 um artigo na prestigiosa revista *Science*, com o provocativo título “Should the History of Science be Rated X?” (algo como: “A história da ciência deveria ser classificada como imprópria para menores?”, em tradução livre). O subtítulo resume a opinião que Brush iria debater: “A maneira como os cientistas se comportam (de acordo com os historiadores) poderia não ser um bom modelo para os estudantes.” De acordo com Brush, os professores tradicionalmente recorriam à história da ciência para demonstrar como os cientistas trabalhavam com racionalidade, imparcialidade, rigor lógico, com metodologia adequada para verificar experimentalmente as hipóteses. Porém, os historiadores da ciência estariam mostrando, cada vez mais, como o comportamento dos cientistas se mostra muito diferente desse ideal. Brush concluiu que, se o objetivo do professor de ciência é doutrinar seus alunos para considerarem o cientista como um descobridor neutro de fatos, então a história da ciência que estava sendo feita pelos historiadores contemporâneos não deveria ser utilizada. Brush sugere que uma história “ficcionalizada”, idealizada, se prestaria melhor a esse papel, e cita um filósofo da ciência para explicar essa opinião – a qual retomaremos em breve. Ainda segundo Brush, se o professor estivesse interessado apenas em mostrar quais as idéias antigas que levaram às teorias e leis aceitas hoje, a então chamada história *whig* seria exatamente o que o professor precisaria. Se, no entanto, o professor de ciência desejasse que seus alunos compreendessem que a atividade científica incorpora considerações metafísicas e estéticas, e qual seu papel na sociedade, então – afirmou Brush – esse professor poderia encontrar subsídios na nova

história da ciência. Ou seja, Brush reconhecia que diferentes abordagens historiográficas poderiam se ajustar a diferentes objetivos educacionais. Outro problema apontado por Brush era o fato de que alguns mitos e curiosidades históricas eram simplesmente copiados de um livro didático a outro através do tempo, sem que os educadores se aproximassem dos novos trabalhos em história da ciência. Brush alertava também para o fato de que o então recente “entusiasmo” dos historiadores da ciência pela contextualização filosófica e cultural das teorias científicas do passado estava aprofundando o fosso que separava o historiador do educador em ciência. Seu diagnóstico era de que, até aquele momento, a maioria dos professores de ciência parecia ignorar as novas interpretações para a história da ciência (Brush, 1974).

Cinco anos depois, Whitaker (1979) recorreu ao termo *quasi-história* para criticar um tipo de abordagem didática que, a seu ver, se constituiria em relato distorcido da atividade científica. Whitaker descreveu a *quasi-história* como uma abordagem na qual uma história é construída como uma moldura, para se apresentar conceitos científicos em uma sequência que faça sentido, mas que não resiste a uma análise histórica fidedigna. Um dos exemplos oferecidos por Whitaker é a versão de que a hipótese quântica de Planck teria sido desenvolvida em função do fracasso da equação clássica de Rayleigh-Jeans em descrever a radiação do corpo negro. Whitaker dizia que essa versão apresenta uma física lógica e bem ordenada, mas que não corresponde à sequência histórica dos fatos: James Jeans modificou a equação do Lorde Rayleigh em 1905, depois, portanto, de Max Planck haver publicado suas ideias. Em seu artigo, publicado em duas partes, Whitaker estabeleceu uma distinção entre *quasi-história* e a *pseudo-história*, sendo que a definição desta última ele atribuiu a Klein. Segundo Whitaker, a *pseudo-história* seria aquela na qual os fatos são selecionados, com a finalidade de ensinar conceitos científicos – mas resultando em algo que deixa de ser história. Aparentemente, a principal diferença que Whitaker via entre as duas é que a *pseudo-história* seria uma *simplificação* da história (sendo menos danosa para o ensino de ciências), enquanto que a *quasi-história* seria uma *distorção* da história. Na descrição de Whitaker, a *quasi-história* despreza os aspectos sociais da ciência, resultando em duas formas de apresentar as descobertas científicas: ou são quase triviais, ou então são quase místicas. Além disso, na *quasi-história* as descobertas são imediatamente compreendidas e aceitas, tão logo são anunciadas. Na *quasi-história* os grandes cientistas não cometem erros, pois quem a escreve somente expõe as idéias que foram aceitas e permaneceram no corpo de conhecimentos científicos. Na opinião de Whitaker, a *quasi-história* teria como consequência o desinteresse do estudante pela ciência, pois desenvolveria a imagem do cientista ou como alguém que

resolve quebra-cabeças (o que não seria muito estimulante) ou como um gênio extraordinário (com quem o estudante não se identifica).

Um ponto importante que emerge dos artigos de Brush e de Whitaker é a questão do olhar dos filósofos da ciência sobre a história da ciência. Essa questão se coloca quando os autores discutem como a história se ajusta às diferentes concepções filosóficas sobre a ciência. Ao mencionar o ponto de vista dos professores que desejam doutrinar seus alunos em uma visão puramente racional da ciências, Brush cita a posição de um filósofo, John J. C. Smart. Em uma resenha sobre obras de Imre Lakatos e outros filósofos da ciência, Smart escreveu:

Em princípio poderia parecer que discussões metodológicas poderiam ser feitas por meio de exemplos completamente inventados, de teorias, leis, etc... Os metodologistas precisam de exemplos da história da ciência apenas porque é muito difícil inventar exemplos fictícios. Não importa, portanto, se a história não é completamente verdadeira (Smart, 1972, p. 268).

Ou seja, Brush chama a atenção para o fato de que, se a intenção for incutir nos alunos uma determinada concepção de ciência, uma história fictícia cumpriria melhor esse objetivo do que a história produzida pelos historiadores da ciência. O que está em jogo, aqui, são as diferenças entre as abordagens que caracterizam os trabalhos dos filósofos da ciência e dos historiadores da ciência: seus objetivos são diferentes, e seus olhares sobre a história também podem ser. Assim, o educador em ciência precisa estar atento a essas diferenças, e avaliar criticamente materiais com enfoque histórico que deseje utilizar em suas aulas.

Whitaker apontou, ainda, o que ele considerou como “aparente semelhança” entre a quasi-história e o conceito de “reconstrução racional”, proposto por Lakatos. Lakatos argumentava que qualquer historiador da ciência seria guiado por um conjunto de concepções teóricas; assim, ao escrever a história “interna” da ciência, o historiador deveria não apenas omitir tudo o que é irracional à luz de sua própria teoria da racionalidade, mas também produzir uma versão melhorada do desenvolvimento das idéias – resultando assim na reconstrução racional da ciência. Eventualmente, o historiador poderia narrar também uma outra história, descrevendo os fatos na sequência em que ocorreram, incorporando fatores como pressões sociais, influências religiosas, estado de saúde do cientista, etc. A comparação entre as duas histórias poderia mostrar como os fatos muitas vezes se “comportam mal” à luz de sua reconstrução racional (Lakatos, 1997 [1977]). Essa concepção foi bastante criticada por historiadores da ciência (vide, por exemplo, Kuhn, 1971), mas Whitaker não estava preocupado em abordar essas críticas. Whitaker afirmou mesmo que a reconstrução racional

poderia ser útil para o ensino de ciência, desde que deixasse explícito que se trata de uma reconstrução. A descrição que Smart fez da reconstrução racional lakatosiana, de fato, se assemelha muito ao que Whitaker chamou de *quasi-história*: Smart escreveu que a reconstrução racional é “a história reconstruída como se o cientista sempre houvesse procedido de maneira racional, de acordo com os princípios de alguma metodologia”, e que essa história não precisaria ser verdadeira (Smart, 1972, p. 267). Na opinião de Whitaker, entretanto, haveria uma grande diferença entre a reconstrução racional, e a tão criticada *quasi-história*: é que esta não admite que houve uma reconstrução. Curiosamente, Whitaker afirmou que:

é essencial que ele [*i. e., o autor de material didático*] ensine a história como ela aconteceu, e não como ela deveria ter acontecido, ou como ele deseja que houvesse acontecido (Whitaker, 1979, p. 240-241).

Ainda assim, Whitaker aceitou a reconstrução racional – que, afinal, também poderia ser interpretada como um relato de como a história “deveria ter acontecido” – desde que o leitor fosse avisado de que isso estaria sendo feito.

Whitaker também procurou dialogar com Brush, por entender que este teria sido um dos únicos a discutir os efeitos da *quasi-história* no ensino de ciências, em seu artigo de 1974 – embora, naquele artigo, Brush não tenha usado o termo *quasi-história*, mas se referido ao uso “seletivo” de materiais históricos, ou a relatos “míticos”, ou ainda à “ficcionalização” da história. Assim, poder-se-ia questionar a necessidade de se introduzir o novo termo *quasi-história*. Porém, a divergência que Whitaker explicita não estava na terminologia, e sim no fato de que ele considerava que Brush enfatizava a falta dos elementos subjetivos (ou seja, intuição, persuasão, “conversão” de cientistas a uma teoria) nos relatos (quasi-)históricos, mas não estaria muito preocupado com os aspectos sociais da atividade científica. Segundo Whitaker, a principal omissão na *quasi-história* seria a da interação social entre cientistas – e ele concluiu afirmando que o estudo da sociologia da ciência seria tão importante quanto o de sua história, pois assim os estudantes poderiam ter uma idéia a respeito de como a atividade científica é conduzida (Whitaker, 1979).

O artigo de Whitaker, embora contenha aspectos problemáticos, chama a atenção para pontos muito importantes da relação entre a história da ciência e o ensino. Os pontos negativos que Whitaker atribuiu à *quasi-história* se referem a concepções historiográficas que então estavam sendo revistas, e suas sugestões, em alguma medida, contemplam pontos da nova historiografia da ciência. Sua insistência em relação aos aspectos sociais da atividade científica aponta para a necessária superação da dicotomia *internalismo versus externalismo* –

superação que acabou por ser reconhecida entre os historiadores da ciência. Ao criticar o consenso instantâneo descrito pela quasi-história, a ausência de conflitos e de erros, Whitaker remete à questão da complexidade da ciência – que emerge a cada vez que um historiador da ciência se aprofunda em um estudo de caso. Ao defender que os professores apresentassem a ciência (em seu caso particular, a física) como uma disciplina viva, e não como uma estrutura de conhecimentos completa, e que utilizassem materiais que contemplassem as dificuldades e incertezas, Whitaker estava, afinal, reconhecendo a complexidade da ciência. Isso também se manifestou em sua crítica a muitos volumes “populares” de história da ciência, inadequados justamente por serem superficiais. Como alternativa, que permitiria aos estudantes se aproximarem da devida contextualização das idéias científicas do passado, Whitaker recomendou a leitura de textos originais. Assim, pode-se ver como as questões historiográficas iam repercutindo, ainda que de maneira difusa, entre os educadores em ciências.

Uma discussão mais recente

No Brasil, Pessoa Jr. (1996) repercutiu ideias semelhantes às de Brush, ao alertar para o fato de que a adoção, ou não, da abordagem histórica dependeria dos objetivos dos professores: por exemplo, que os alunos resolvam equações, ou resolvam um problema técnico; ou, por outro lado, que os alunos entendam como se faz ciência, ou como esta se relaciona com outras atividades humanas. Para aqueles primeiros objetivos, Pessoa Jr. entendeu que a abordagem histórica não seria relevante. Observou também que diferentes abordagens seriam possíveis, como a “história internalista de longo prazo”, o “perfil epistemológico de grandes cientistas”, a “história externalista ou social”, a “leitura de originais”, a “reconstrução a partir de teorias da dinâmica científica”, a “história dos instrumentos científicos”, e as “histórias possíveis” (Pessoa Jr., 1996, p. 5-6). Em relação a esta última, é curioso notar que Pessoa Jr. defendeu uma espécie de ficção histórica, sugerindo que se estudasse, em contextos didáticos, também outros possíveis caminhos que poderiam ter levado às descobertas da ciência. O autor indagava: “Por que nos prendermos somente àquela história que por acaso aconteceu?” (Pessoa Jr., 1996, p. 6.) Embora compreendendo a proposta, não concordamos com essa abordagem. Em nosso modo de entender, não podemos colocar em um mesmo patamar a história da ciência e relatos

ficcionais; em outras palavras, as “histórias possíveis” não podem ser consideradas como “história”.⁷

Um dos mais conhecidos defensores da inclusão da história da ciência no ensino, Michael Matthews, abordou as discussões em torno da pseudo-história e da quasi-história em seu livro *Science teaching – the role of history and philosophy of science* (Matthews, 1994). Matthews fez uma revisão dos argumentos de Klein e de Whitaker, reconhecendo a importância das preocupações expressas por esses autores, mas defendendo que os problemas apontados não constituem obstáculos intransponíveis. O principal argumento de Matthews parece ser o de que as atividades do historiador da ciência e do educador em ciência são muito diferentes, têm objetivos e métodos diferentes – logo, não poderiam ser julgadas pelos mesmos critérios. Assim, um relato de história da ciência escrito com finalidade didática não resulta necessariamente em pseudo-história, segundo Matthews. Além disso, ele observou que distorções motivadas por orientações ideológicas não seriam incomuns no ensino de história geral (política, social, religiosa) e, no caso do ensino de ciência, a história da ciência não estaria livre do mesmo risco, conforme Klein e Whitaker mostraram. Para Matthews, seria uma questão de se estar atento a esse problema em potencial, e envidar esforços para minimizá-lo. Na opinião de Matthews, a tarefa pedagógica envolvida na elaboração e aplicação de um material didático implicaria em uma simplificação, visando a aprendizagem do aluno – havendo que evitar que essa simplificação se transforme em caricatura. O desafio do educador, portanto, seria simplificar a história de tal modo que a “inevitável distorção” resultasse em benefício didático, e não em prejuízo (Matthews 1994, pp. 71-81).

Matthews não discutiu explicitamente, nesse ponto, questões como o olhar sobre o passado em busca das idéias do presente, ou a superficialidade do material histórico a ser trabalhado com os alunos. Aparentemente, Matthews não viu problemas em distorções da história – consideradas inevitáveis – desde que facilitassem a aprendizagem. Os problemas historiográficos apontados por Matthews foram aqueles relacionados à manipulação ideológica, além de fazer referência à complexidade da história da ciência. Quanto a este último aspecto, Matthews sugeriu não estar muito preocupado, pois defendeu que os critérios para se julgar os trabalhos de historiadores da ciência e de educadores são diferentes. Assim, não haveria problema em haver uma “história dos historiadores da ciência” e uma “história dos educadores”.

⁷ Ao revisitar o trabalho de Pessoa Jr. (1996), Tavares (2010) citou trabalhos de pesquisa, realizados no Brasil, que exemplificavam seis das sete possibilidades de abordagem sugeridas por aquele autor. Tavares não citou exemplos de “histórias possíveis”, nem sequer considerou esse tipo de abordagem, em seu artigo.

Em artigo mais recente, no qual criticava a visão consensual sobre a natureza da ciência proposta por Lederman, Matthews argumentou:

o primeiro elemento na lista de Lederman diz simplesmente que “a ciência tem uma base empírica”. Bem, sim, ela tem, mas a questão é mais complexa; e, assim como em muitos outros casos, o diabo mora nos detalhes. (...) [C]ertamente os professores podem e devem compreender os detalhes (Matthews, 2012, p. 13).

Em nosso entender, os “detalhes” são estudados pela história; e a história não se constitui em um conjunto de fatos, mas na interpretação que o historiador dá aos fatos. Logo, a concepção historiográfica é fundamental para orientar a localização dos “diabos” que “moram nos detalhes”: afinal, diferentes vieses historiográficos revelarão diferentes “diabos”. Em outras palavras, entendemos que a abordagem diacrônica característica da historiografia da ciência contemporânea fornece um panorama mais adequado para a compreensão dos detalhes que permitem a discussão das sutilezas e complexidades do processo de construção da ciência.

Outro autor trouxe ao proscênio questões historiográficas da ciência em conexão com o ensino de ciências. Em diversos artigos, publicados desde 1995, Douglas Allchin tem chamado a atenção – de maneira contundente – para abordagens da história da ciência em materiais escritos por educadores, as quais ele considera inadequadas. Um desses artigos é intitulado “How *not* to teach history in science”. Nele, Allchin argumentou que certos autores moldam ou distorcem a história, ou para justificar certas concepções de ciência, ou para apoiar determinados modelos pedagógicos. Segundo Allchin, os professores de ciência precisariam aprender a utilizar a história da ciência como um instrumento adequado, pois muitos deles – por associarem a ciência a conhecimento verdadeiro – seriam péssimos historiadores: veriam a ciência do passado “ou como descoberta triunfante, ou como erro patológico” (Allchin, 2002). Um dos alvos de Allchin foi o biólogo e educador em ciência David Hershey. Allchin o tomou como exemplo de autor que distorceu a história da ciência, ao julgar um autor do século XVII utilizando critérios científicos atuais, que não existiam na época. Allchin citou outros exemplos negativos e deu sugestões de como a história, não “distorcida”, poderia ser importante para o ensino de ciências. O ponto sobre o qual Allchin insistiu ao longo de todo seu texto, e em artigos subsequentes, é: deve-se apreciar a ciência do passado em seu devido contexto. Hershey, por sua vez, sentiu-se pessoalmente atingido por Allchin, e publicou diversos artigos em resposta. Hershey tirou proveito do fato de que Allchin descuidadamente cometeu alguns erros factuais em seu artigo, e alinhou críticas que procuravam voltar contra Allchin seus próprios argumentos. Tampouco faltaram acusações de

falta de ética (Hershey, 2004 e 2006). Allchin também se envolveu em polêmica com outro biólogo, Anton Lawson. Este último recorreu a exemplos históricos com o intuito de demonstrar que toda a ciência é feita seguindo um método hipotético dedutivo (Lawson, 2000). Em um dos artigos em que critica Lawson, Allchin retomou o termo *pseudo-história*, para designar a história da ciência seletiva, que simplifica o processo da ciência, não necessariamente de maneira intencional, mas às vezes por negligência ou ingenuidade. Allchin afirmou que a pseudo-história não é a mesma coisa que uma falsa história, ou seja, erros factuais em relatos históricos. A pseudo-história seria aquela que conduziria a idéias falsas a respeito do processo histórico da ciência, e por isso seria tão danosa para o ensino de ciência. A história *whig*, e a abordagem hagiográfica de cientistas do passado seriam algumas formas de manifestação da pseudo-história. Como alento para o educador em ciência pouco versado na história da ciência, Allchin afirmou que seria possível reconhecer a pseudo-história por meio de uma observação atenta: “Felizmente para o iniciante, pode-se tipicamente reconhecer os erros básicos *estilisticamente* e através de *omissões eloquentes*” – e chegou a fornecer uma lista desses “sinais de alarme” para pseudo-histórica. Essa lista inclui, por exemplo, personalidades sem máculas, descobertas monumentais e solitárias, experimentos cruciais, supersimplificação, ausência de contexto, etc. A discussão entre Allchin e Lawson claramente se desenvolve como resultado de seus enfoques radicalmente diferentes: Lawson aspira a um modelo filosófico que explique todo o desenvolvimento da ciência; Allchin considera esse objetivo impertinente, argumentando que a adequada interpretação da história coloca cada evidência em seu devido contexto, e daí não emerge nenhum modelo que possa ser universalmente abrangente. Esse tipo de diferença faz lembrar o relato de Thomas Kuhn a respeito das abordagens características de filósofos e historiadores da ciência diante das evidências históricas (Kuhn, 1989, pp. 29-49, esp. pp. 33-34).

Os debates envolvendo Allchin, Hershey e Lawson geraram algum calor – mas o importante é que também geraram alguma luz sobre a questão da presença da história da ciência no ensino. Allchin demonstrou estar mais atualizado em relação às concepções historiográficas contemporâneas. Ele defendeu enfaticamente a necessidade de contextualização das idéias científicas do passado, em oposição à abordagem essencialmente anacrônica que procura julgar a ciência do passado por meio de critérios do presente. Nesse sentido, Allchin ressaltou que o importante não é a quantidade de história da ciência a ser introduzida nas aulas de ciência, mas sua qualidade. Segundo ele, a história da ciência mal feita constrói visões errôneas sobre a natureza da ciência e, portanto, contraria os próprios objetivos educacionais. Para ir ao encontro desses objetivos, é necessário expor a

complexidade da atividade científica – o que pode ser feito através de estudos de casos devidamente aprofundados (Allchin, 2004). Entretanto, alguns problemas nos trabalhos de Allchin podem comprometer a disseminação de suas idéias entre os educadores. Allchin é acidamente crítico em relação aos autores que adotam uma visão historiográfica inadequada, o que pode gerar antipatia de seus leitores. Além disso, mesmo sendo tão rigoroso na avaliação de trabalhos alheios, Allchin cometeu alguns erros factuais grosseiros (como em seu artigo de 2002, no qual se referiu ao *filósofo químico* belga J. B. Van Helmont – que floresceu no século XVII – como “um médico holandês do início do século XVI”, entre outros deslizos), que foram expostos por Hershey. Embora esses erros não tirem a validade de sua argumentação, podem gerar desconfiança entre os leitores pouco familiarizados com o assunto. Allchin também se mostra excessivamente otimista em acreditar que um educador que tenha escassa formação em história da ciência seja capaz de identificar o viés historiográfico de um texto a partir de sua lista de “sinais de alarme para a pseudo-história” (Allchin, 2004). Uma abordagem crítica como essa requer alguma formação prévia, que inclua discussões sobre tendências historiográficas em história da ciência. A dificuldade em se compreender as diferenças entre essas tendências pode ser exemplificada pelos próprios textos de Hershey, em sua polêmica contra Allchin. É possível observar que Hershey não compreende o que Allchin quer dizer com “contextualização” das idéias científicas (Hershey, 2002), provavelmente por desconhecer as questões historiográficas subjacentes. Curioso é observar como a conclusão de um dos artigos de Hershey (2006) traz recomendações fundamentais, e muito pertinentes, para qualquer acadêmico que deseje produzir artigos utilizando a história da ciência em contextos didáticos: trabalhar com estudos de casos detalhados e bem documentados; citar fontes secundárias de boa qualidade; recorrer às fontes primárias. Os historiadores da ciência certamente vêm com bons olhos essas recomendações. Entretanto, embora consciente delas, Hershey não consegue produzir artigos historiograficamente atualizados – o que ilustra que essas condições podem ser necessárias, mas não são suficientes.

Outros vieses historiográficos podem ser observados na literatura recente da área de ensino de química. Mansoor Niaz é um pesquisador que tem se dedicado a promover a aproximação entre a história da ciência e o ensino de química, liderando um grupo bastante produtivo. Niaz adotou o referencial da reconstrução racional lakatosiana, tendo publicado trabalhos analisando livros didáticos e concepções de estudantes sob essa perspectiva, explorando vários temas: estrutura atômica, a controvérsia entre Millikan e Ehrenhaft sobre a carga elementar, teoria cinética dos gases, ligação covalente, tabela periódica, etc. (Niaz,

1995, 1998, 2000a, 2000b, 2001a, 2001b, 2002). Justi e Gilbert (1999a, 1999b) também recorreram à reconstrução racional de Lakatos, em investigações sobre o ensino de cinética química, e o uso de modelos híbridos⁸, por meio da história e filosofia da ciência. Guridi e Arriasecq (2004) igualmente sugerem o uso da reconstrução racional, em artigo no qual comentam sobre a distinção entre uma historiografia *whig* (ou anacrônica) e uma historiografia *antiwhig* (ou diacrônica). Entretanto, as autoras parecem concordar com a opinião de que “estas duas visões não devem ser tomadas como excludentes, mas complementares, e, dependendo do problema em questão, devem-se utilizar elementos de uma ou de outra” (Guridi e Arriasecq, 2004, p. 310).

Outra abordagem foi adotada por Chamizo (2007). Reconhecendo a existência de diferentes correntes na historiografia da ciência, Chamizo afirmou que, para finalidades de ensino, ele adotaria a chamada “história da ciência recorrente”. Chamizo atribuiu a introdução dessa vertente historiográfica a Bachelard, para quem a história da ciência seria continuamente recontada à luz do presente. De acordo com essa concepção, a história da ciência buscaria as razões para a escolha das concepções atuais – razões que não seriam psicológicas, sociológicas ou políticas, mas estariam assentadas sobre as bases racionais características da época em que determinada escolha foi feita. Nesse aspecto, essa abordagem se diferencia da reconstrução racional lakatosiana, na medida em que esta última julga a história tendo como referência um padrão extra-histórico e absoluto de racionalidade (Chamizo, 2007, p. 206). Assim, Chamizo oferece como exemplo um relato, com finalidade didática, a respeito da elaboração do modelo atômico de Lewis-Langmuir-Sidgwick, seguindo a proposta da história recorrente. Ao final do relato, Chamizo propôs atividades que poderiam ser feitas com estudantes, como descrever estruturas moleculares usando o modelo de Lewis-Langmuir-Sidgwick, discutir suas limitações e o porquê de este modelo haver sido abandonado em favor de outros. Não duvidamos das possibilidades didáticas da proposta de Chamizo: apenas acreditamos que as componentes psicológicas, sociológicas ou culturais envolvidas na atividade científica não precisam ser excluídas de sua caracterização em favor de um modelo exclusivamente racional, sob pena de levarmos aos estudantes um concepção inadequada de ciência. Outro ponto em que discordamos de Chamizo se refere à sua posição de que, como o ensino de química nas escolas não se refere ao conhecimento que os químicos estão produzindo na atualidade, mas a ideias que foram propostas no passado (como os

⁸ De acordo com Justi (2000), um modelo híbrido é aquele que mistura características de distintos modelos científicos e históricos, sendo usado, em contextos didáticos, como se fosse um todo coerente.

conceitos de átomo, molécula, valência, ligação química, etc.), os professores, de fato, “ensinam a história da química” (Chamizo, 2007, p. 212). Entendemos que essa formulação pode levar os educadores a uma concepção errada do que seja a história da ciência: uma narrativa sobre conceitos químicos “antigos” não é a mesma coisa que a história da química. Nossa opinião é que seria mais proveitoso, para a formação de professores, caracterizar bem essa distinção, e as possibilidades de interação entre a química escolar e a história da química.

Por sua vez, Wandersee e Griffard (2002) apontaram, entre as causas que dificultam a adoção da abordagem histórica pelos professores de ciências, a relutância em dedicar tempo a algo que é visto, por eles, como acessório ao conteúdo, o que se daria em detrimento do estudo de conceitos. Além disso, os autores apontaram também para a falta de recursos didáticos que incorporem a história ao ensino de química, reconhecendo que a produção de material apropriado é uma tarefa difícil. Para contornar essas questões de ordem prática, Wandersee e Griffard (2002) defenderam o uso de *vinhetas históricas interativas* – narrativas curtas, que ocupariam pouco tempo de aula e apresentariam situações-problema ocorridas na história da ciência, as quais deveriam ser debatidas com os estudantes. Após os alunos apresentarem suas próprias opiniões a respeito de como a situação poderia ser resolvida, o professor apresentaria o desfecho do caso como historicamente ocorreu. Embora, em linhas gerais, a proposta apresente aspectos interessantes, é curioso observar dois problemas na apresentação feita pelos autores. Dispondo da oportunidade de fornecer um exemplo do que seria uma vinheta histórica interativa, Wandersee e Griffard (2002) apresentaram uma narrativa sobre o químico Humphry Davy, na qual não fica claro qual seria o problema a ser discutido com os estudantes, isto é, não se vislumbra como a metodologia de trabalho descrita no artigo pode ser concretizada, diante do exemplo oferecido. Ainda mais problemática, porém, foi a escolha das fontes para a produção da vinheta descrita. Embora uma fonte primária tenha sido citada, percebe-se que ela não foi a mais importante para a elaboração do texto. Duas fontes secundárias foram citadas: uma obra de divulgação escrita por O. Sacks (que não é historiador da ciência), e um artigo sobre história da ciência e ensino, publicado em um periódico da área de ensino de ciências, o qual não trata especificamente do caso histórico em questão. Assim, embora Wandersee e Griffard (2002) tenham argumentado, no artigo, a respeito da importância de se basear em “relatos históricos válidos do trabalho do químico escolhido” (p. 36) para elaborar um material didático, eles próprios falham ao não recorrer a fontes secundárias atualizadas em história da ciência.

Embora tenham defendido a inclusão da história e da filosofia da química na formação de professores, Paixão e Cachapuz (2003) não discutiram a questão historiográfica. Ao

descrever uma atividade realizada com professores, os autores mencionaram que foi fornecida “documentação atualizada” em história e filosofia da ciência, e também em história da química, para discussão em conjunto. Contudo, Paixão e Cachapuz não explicitaram qual foi a documentação utilizada. Entre as referências bibliográficas citadas no artigo se encontra apenas uma obra de história da ciência – mas é uma obra de divulgação, do tipo enciclopédica, que não poderia ser considerada exatamente como “atualizada”. É claro que isso não significa, necessariamente, que Paixão e Cachapuz não tenham utilizado outras fontes em sua pesquisa: porém, a bibliografia citada pode ser interpretada de maneira equivocada pelo público leitor.

Pode-se destacar, ainda, outro grupo ativo de educadores em química interessados em interfaces com a história, liderado por Izquierdo-Aymerich, Quintanilla-Gatica e Adúriz-Bravo. Os três apresentaram a proposta de um modelo teórico para a introdução da história da ciência na formação de professores (Quintanilla, Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2005). O modelo inclui a seleção de “exemplos paradigmáticos” na história da ciência, a serem discutidos com os professores em formação (o que parece convergir com a ideia de selecionar estudos de casos para promover discussões em profundidade). O modelo também menciona a caracterização de conteúdos, métodos e abordagens da história da ciência, que os professores necessitariam conhecer, bem como um núcleo histórico que deveria integrar a formação de professores. Esse núcleo abrangeria o que os autores chamam de “modelos para interpretar a história (diacronismo, presentismo, anacronismo, etc.) e suas aplicações para o planejamento de unidades didáticas específicas” (Quintanilla, Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2005, p. 11). Esse aspecto seria fundamental para a formação dos professores; entretanto, os autores não aprofundam nem problematizam a questão das abordagens historiográficas. Em outro artigo, Izquierdo-Aymerich (2012) defendeu que “uma perspectiva histórico-filosófica pode nos ajudar a adquirir melhor compreensão sobre como a química escolar deve ser orientada, no sentido da aquisição de competências químicas”. Tendo isso em vista, a autora fez uma revisão de

alguns “episódios”, a fim de considerar a origem da química na Idade Moderna, suas “regras” enquanto “atividade”, as “entidades” que esta atividade produz, e sua linguagem e representações. Tentaremos abordar aqui essas questões de maneira não anacrônica, reconhecendo o viés que poderia ser introduzido, pois foram formuladas a partir de uma disciplina – a didática da química – que busca objetivos diferentes daqueles da história da química (Izquierdo-Aymerich, 2012, s.n.).

Algumas páginas adiante, Izquierdo-Aymerich reconheceu que os episódios históricos que discutiu em seu artigo “não fornecem uma ‘história da química’. Eles foram selecionados e até ‘reconstruídos’ (...)” (Izquierdo-Aymerich, 2012, s.n.). Apesar de sua manifesta intenção de que essa “reconstrução” fosse “não anacrônica”, a autora não consegue esse intento. Dois exemplos podem ilustrar esse ponto. Ao destacar o que seriam as origens da ideia de conservação das substâncias, Izquierdo-Aymerich menciona que o químico francês Jean Béguin (1550–1620) teria escrito “a primeira equação química da história”. Como discutido por Ferraz e Alfonso-Goldfarb (2012), o panorama conceitual em que se desenvolveu o conceito de equação química é completamente distinto daquele de Béguin, sendo portanto inadequado atribuir ao esquema proposto por esse autor o estatuto de equação química. Um segundo exemplo é a caracterização do conceito de elemento químico proposto por Lavoisier. De acordo com Izquierdo-Aymerich (2012), “Lavoisier chama de elementos as substâncias que são conservadas, e os identifica, de maneira confusa, com as substâncias simples”. Pode-se questionar aqui o uso da palavra “confusa”: para quem a proposta de Lavoisier seria confusa? Para seus contemporâneos? Ou para os leitores atuais, acostumados a uma distinção precisa entre substância simples e elemento, baseada em informações sobre a estrutura dos átomos que, evidentemente, não existiam na época de Lavoisier? Outros problemas como esses podem ser encontrados no texto, e resultam da tentativa de fazer generalizações abrangentes no sentido de caracterizar a química como um todo, a partir de relatos históricos superficiais sobre um grande número de temas.

Discussões historiográficas explícitas aparecem em artigo de Forato, Pietrocola e Martins (2011). Os autores observaram que há muitos textos didáticos que trazem, subjacentes, visões acerca da ciência que são distintas daquelas que explicitamente defendem. Assim, o conhecimento de aspectos da historiografia da ciência possibilitaria que os professores fizessem uma leitura mais crítica das narrativas históricas contidas em materiais didáticos. Forato, Pietrocola e Martins destacaram que o respeito pelo contexto histórico é um requisito fundamental para qualquer historiador. No caso da história da ciência, o anacronismo muitas vezes se manifesta na forma de julgamentos preconceituosos a respeito de ideias e personagens do passado, e da exaltação de ideias semelhantes às da ciência atual. Os autores também discordam da reconstrução linear de episódios da história da ciência, que pode resultar na concepção de que basta seguir os passos de um método científico único e universal para se chegar, de maneira infalível, ao conhecimento científico da atualidade. Abordagens equivocadas da história da ciência, afirmam Forato, Pietrocola e Martins, podem acabar por desestimular o pensamento crítico dos aprendizes. Levar essas discussões para a

formação de professores não é fácil, e os autores apontaram uma série de obstáculos e dilemas a serem enfrentados nesse processo. As posições que defendemos neste texto convergem com as propostas de Forato, Pietrocola e Martins, resumidas na seguinte citação:

Para que se atinja o objetivo defendido pela literatura educacional... é relevante levar em conta uma visão historiográfica contemporânea. (...) *Reconhecer a impossibilidade de se desvincular crenças e valores pessoais das concepções implícitas em qualquer narrativa sobre as ciências, permite ao professor selecionar as versões históricas coerentes com os objetivos de sua prática pedagógica, ou discutir criticamente narrativas consideradas inadequadas* (Forato, Pietrocola & Martins, 2011, p. 53, itálico no original).

Também concordamos com a posição expressa por Saito (2010), em artigo que apresenta aos leitores o periódico *História da ciência e ensino: construindo interfaces*, em seu primeiro número. Saito (2010) observou a carência de bases teóricas mais sólidas nas propostas que buscam articular a história da ciência com o ensino. Essas bases necessitariam contemplar a natureza do conhecimento científico, pautada em tendências historiográficas atuais. Educadores fundamentados em concepções historiográficas antigas tendem a reforçar a ideia de desenvolvimento científico linear, afirmou Saito. Por isso, ele entende que “do ponto de vista do historiador da ciência, seria somente por meio da abordagem historiográfica atual que a História da Ciência poderia contribuir de maneira mais profícua para o ensino” (Saito, 2010, p. 5).

O professor de química diante da história da ciência

A presença ou não de reflexões sobre a historiografia da ciência na formação do professor, e a influência disso sobre suas práticas pedagógicas e a aprendizagem dos alunos, requerem estudo cuidadoso. Nesse sentido, uma das preocupações correntes em relação à efetiva adequação do ensino médio brasileiro aos ideais expressos na legislação pertinente, bem como nos documentos destinados a regulamentar essa legislação, diz respeito à ausência de discussão das diretrizes oficiais por parte dos professores. Essa ausência apresenta entre suas inúmeras causas a própria dificuldade de compreensão dos fundamentos expressos nos documentos oficiais. Esse problema foi apontado pela equipe de professores de química que participou de uma revisão crítica dos PCNEM, e elaborou em 2004 as *Orientações Curriculares do Ensino Médio*. Em sua análise, essa equipe ponderou:

pode-se afirmar que a questão da qualificação dos professores, inclusive para avaliar o entendimento da linguagem, estilo e pressupostos teóricos dos PCNEM,

foi e é insuficiente até aqui; mais ainda se considerarmos que muitíssimos professores não estão habilitados a lidar com *instrumentos teóricos* que possibilitam compreender e analisar aprendizagem, desenvolvimento mental, flexibilidade curricular, competências (Brasil, 2004, p. 218, grifo nosso).

Entre esses instrumentos teóricos podemos certamente incluir as diferentes concepções historiográficas que podem ser reconhecidas na evolução disciplinar da história da ciência.

A dificuldade em lidar com a história da ciência não é exclusividade dos professores brasileiros. No Reino Unido, o *National Curriculum Council* (NCC) recomendou, em 1988, que uma porcentagem do currículo de ciências do ensino básico fosse dedicada à história e filosofia da ciência. No documento intitulado *Science in the National Curriculum*, o próprio NCC reconhece as dificuldades envolvidas:

[O currículo] ocupa-se da natureza da ciência, de sua história e da natureza da evidência científica. Este Conselho reconhece que este aspecto não tem desfrutado de um lugar tradicional no ensino de ciências nas escolas... Considerando que *este objetivo pode ser relativamente pouco familiar aos professores*, diversos exemplos foram dados para cada nível instrucional, para ilustrar esta área de estudos (National Curriculum Council, 1988, p. 21, grifo nosso).

As dificuldades apontadas nesse documento, como se vê, não são muito diferentes das encontradas no caso brasileiro atual.

Também nos EUA a inclusão da história da ciência no ensino tem sido experimentada em projetos educacionais há bastante tempo. Documentos mais recentes, como as diretrizes da *American Chemical Society* para o ensino superior de química, recomendam que as disciplinas de química incorporem a perspectiva histórica – mas, conforme observou Matthews (1994, pp. 56 – 57), nem sempre as diretrizes são seguidas.

Podemos citar ainda o caso da Dinamarca. Por ocasião da reforma do ensino básico, promulgada pelo Parlamento dinamarquês em 1987, o currículo de física foi modificado de modo a apresentar essa ciência como uma atividade humana, em contrapartida ao antigo modelo centrado nos *conteúdos* de física. Nesse processo, a reforma propunha a inclusão da abordagem da história e filosofia da física. Entre os problemas detectados pelo grupo de trabalho encarregado de implementar a proposta, destacamos um aspecto que também se aplicaria ao caso brasileiro:

tivemos que ensinar [ao professor médio de física] alguns exemplos interessantes da história da física, juntamente com sugestões para seu efetivo uso na sala de aula; e ... *tivemos que convencer o professor de que ele seria capaz* de ensinar a seus

alunos a respeito da dimensão histórico-filosófica sem quaisquer problemas (Nielsen & Thomsen, 1990, p. 310, grifo nosso).

Observa-se que os próprios professores do ensino secundário não se sentiam capacitados a se utilizar da história da ciência para ensinar física. É absolutamente necessário, portanto, que os professores sejam instrumentalizados, de maneira adequada, para que possam incorporar a dimensão histórica a suas práticas.

A questão das fontes

Uma questão fortemente associada à formação dos professores se refere à qualidade das fontes de informação a respeito da história da ciência, disponíveis para professores e alunos. Informações sobre história da ciência estão disponíveis em livros didáticos, Internet, televisão, jornais, revistas e livros de divulgação – de maneira muito mais acessível do que na literatura especializada, produzida pelos pesquisadores em história da ciência. É preciso estar atento, entretanto, para *qual* história da ciência está sendo veiculada por essas fontes, ou seja, quais concepções historiográficas subjazem a esses materiais. A insatisfação em relação à própria formação em história da ciência foi percebida em levantamento preliminar que realizamos junto a licenciandos do Instituto de Química da USP. Constatamos que a maioria dos licenciandos pesquisados considera que a história da ciência pode auxiliar no ensino de química; entretanto, a maior parte se declara também insatisfeita com a abordagem que encontram para a história da ciência nos livros didáticos de química. Além disso, mesmo entre os licenciandos que afirmaram ter acesso a outras fontes de informação em história da ciência, parcela significativa não se declarou satisfeita com as fontes que conheciam. As respostas apontam ainda para o desconhecimento em relação a fontes atualizadas sob o ponto de vista da moderna historiografia da ciência (Porto, 2005). Outros aspectos do problema da formação de professores foram apontados em artigo de F. Bastos. Segundo esse autor, a história da ciência veiculada nos três níveis de ensino tem incorrido em uma série de problemas:

- incorre em erros factuais grosseiros;
- ignora as relações entre o processo de produção de conhecimentos na Ciência e o contexto social, político, econômico e cultural;
- dá a entender que os conhecimentos científicos progrediram única e exclusivamente por meio de descobertas fabulosas realizadas por cientistas geniais;
- glorifica o presente e seus paradigmas, menosprezando a importância das correntes científicas divergentes das atuais, a riqueza dos debates ocorridos no passado, as discontinuidades entre passado e presente, etc.

- estimula a ideia de que os conhecimentos científicos atuais são verdades imutáveis (Bastos, 1998, p. 43).

As razões para essa situação nos diferentes níveis de ensino têm muito a ver com a falta de atualização das fontes em história da ciência disponíveis tanto para os professores de todos os níveis como para o público em geral.

Um aspecto a ser considerado, quando se questiona a pequena disponibilidade de textos didáticos e paradidáticos de ciências atualizados em termos da historiografia da ciência, é a questão da própria institucionalização da história da ciência em nosso país. Em países da Europa e nos Estados Unidos, a história da ciência institucionalizou-se como disciplina independente a partir da década de 1950. No Brasil, esse processo é bem mais recente: os primeiros programas de pós-graduação exclusivamente em história da ciência datam da década de 1990. Este é um marco que sinaliza um amadurecimento, um longo processo que tem início muito tempo antes e vai se desenvolvendo – de maneira talvez demasiado lenta, premido por circunstâncias da política científica, do fomento à pesquisa, dos interesses dos acadêmicos, etc. De qualquer forma, o ainda pequeno número de profissionais com formação especializada em história da ciência constitui-se em uma importante dificuldade para a ocorrência da necessária interação entre historiadores da ciência e educadores em ciência (Martins, 2006).

Por conta dessa dificuldade, é recorrente, em materiais didáticos e de divulgação, a permanência de erros factuais e de concepções historiográficas já ultrapassadas – como aquelas apontadas por Bastos, e às quais podemos acrescentar ainda a caracterização da ciência como linear e acumulativa, ou a caracterização ingênua e não problemática da atividade científica. Assim, podem-se observar relações entre aspectos relativos à história e à filosofia da ciência, ou seja: concepções de ciência hoje consideradas inadequadas à luz da filosofia da ciência se refletem em concepções inadequadas a respeito do processo histórico. Considerando essas relações, pode-se entender também que o estudo da história da ciência pode contribuir para a construção de visões sobre a natureza da ciência mais coerentes com o pensamento atual dos filósofos dessa área.

Estratégias para a formação dos professores de química

Diante do exposto, parece ser necessário aproximar o professor dos debates a respeito da história da ciência. A leitura de textos como *O que é história da ciência*, de Ana Maria Alfonso-Goldfarb (1994); “Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência”, de Roberto Martins (2004); e “A ciência e as humanidades: a

função renovadora da indagação histórica”, de Allen Debus (1991a), representaria um ponto de partida para debates e reflexões em torno das diferentes tendências historiográficas. O primeiro passo para que o professor de química possa abordar de maneira crítica um texto sobre a história da ciência é mostrar a ele que existem diversos vieses que podem orientar a produção de um texto desse gênero. O historiador da ciência Douglas Allchin argumentou que um leitor, mesmo sem experiência em história da ciência, seria capaz de reconhecer abordagens hoje consideradas inadequadas: para isso, bastaria reconhecer o que ele chamou de “sinais de alerta” (Allchin, 2004), conforme mencionamos anteriormente. Consideramos, porém, que um olhar crítico sobre um texto envolve muito mais do que recorrer a uma lista de “sinais de alerta”: é preciso apresentar explicitamente o debate historiográfico ao professor, e oferecer a ele oportunidades de refletir sobre as sutilezas das diferentes possibilidades de narrativas históricas. Esse olhar crítico requer tempo e estudo para ser desenvolvido.

Outra estratégia importante consiste em aproximar licenciandos e professores das fontes primárias em história da ciência (isto é, os textos originais produzidos pelos pensadores do passado), para que possam se aproximar do contexto original em que o conhecimento foi produzido. É claro que essa aproximação deve evitar as armadilhas do “presentismo”, isto é, o professor deve aprender a não tentar “ler” nos textos antigos a “antecipação” das ideias que temos hoje sobre a química. Em vez disso, o contato com as fontes primárias deve mostrar ao professor os meandros das ideias do passado, os diferentes significados de conceitos ao longo do tempo, as diferentes possibilidades de interpretação das observações científicas, os termos em que as divergências de ideias estavam expostas em outras épocas. Enfim, as fontes primárias nos dão uma experiência, em primeira mão, da complexidade da construção do conhecimento científico.

O acesso a fontes primárias também possibilita o desenvolvimento de estudos de caso, permitindo que licenciandos e professores se aproximem das metodologias preconizadas pela nova historiografia da ciência. Esse processo deve ser complementado pelo acesso simultâneo a fontes secundárias atualizadas e de boa qualidade.

Estudos de caso se constituem em bons meios para alcançar os objetivos educacionais pretendidos. Entendemos estudos de caso como a análise, com certa profundidade, de algum episódio bem delimitado da história da ciência. Trabalhar com estudos de caso é essencialmente diferente de utilizar a história da ciência apenas para “ilustrar” algum conteúdo que está sendo estudado, por exemplo, citando apenas datas de acontecimentos, ou nomes dos químicos envolvidos em alguma descoberta ou invenção, ou curiosidades sobre suas vidas pessoais, etc. Essas “ilustrações” não contextualizam de fato, não contribuem para

a compreensão do conteúdo, ou tampouco contribuem para o aluno compreender o processo de construção da ciência. O estudo de caso pressupõe alguma profundidade, em que o contexto das ideias seja apresentado, bem como os problemas colocados na época que levaram um químico a uma determinada ideia, as hipóteses discutidas, os fatores que levaram ao abandono ou aceitação desta ou daquela hipótese, os debates contemporâneos, enfim – um relato que permita ao aluno vislumbrar a natureza do empreendimento científico. Não acreditamos que **todos** os conteúdos de química precisem ser apresentados a partir de estudos de caso históricos; mas, caso os professores de química consigam introduzir **algum** estudo de caso histórico, em algum momento de seu curso, já poderá ter mais sucesso em construir uma imagem mais fidedigna do processo da ciência do que introduzindo dezenas de simples menções a nomes, datas e curiosidades que permanecem no nível do superficial e do anedótico.

Trabalhando com estudos de caso

Para exemplificar o tipo de abordagem que consideramos frutífera, podemos citar uma atividade que se encontra no livro didático *Interações e Transformações III – A Química e a Sobrevivência – Atmosfera – fonte de materiais* (GEPEQ, 2000), voltado a alunos do ensino médio. A atividade consiste em um texto a ser lido e discutido pelos alunos, com a mediação do professor. De acordo com a proposta do livro, essa atividade se constitui em geradora das demais atividades do módulo. Ou seja, o texto propicia que uma série de questões a respeito de conceitos de química (composição da atmosfera, comportamento dos gases, propriedades químicas dos gases, etc.) sejam levantadas pelos alunos, as quais não precisam ser respondidas de imediato pelo professor, pois serão objeto de estudo ao longo das demais atividades do livro. Mas, o texto – de caráter histórico – permite também a discussão de alguns aspectos da construção do conhecimento científico. O texto parte de uma questão: “Seria o ar um ‘composto’ ou uma ‘mistura’ de outros ‘ares’ (gases)?”, com a qual se pretende inserir o aluno no contexto de investigações que eram conduzidas no final do século XVIII e início do século XIX. O aluno é apresentado ao experimento, realizado por Antoine Lavoisier (1743 – 1794), que identificou dois componentes da atmosfera com propriedades diferentes (posteriormente chamados de nitrogênio e oxigênio). Entretanto, se passou a discutir, na época, se esses dois componentes estariam simplesmente misturados na atmosfera, ou se constituiriam um composto. O texto procura mostrar que havia bons argumentos, baseados no conhecimento científico da época, para sustentar tanto uma como outra interpretação. São apresentados então os estudos que John Dalton (1766 – 1844) realizou com

os gases, e como ele apoiou a hipótese de que os gases estariam mecanicamente misturados (e não, quimicamente combinados) na atmosfera. Observam-se, nesse episódio, algumas características da construção do conhecimento científico: a motivação representada por questões não respondidas acerca da Natureza; a interação entre os cientistas (por exemplo, o encontro entre Joseph Priestley [1733 – 1804] e Lavoisier foi importante para que este último realizasse os experimentos descritos na atividade); as divergências e debates entre cientistas que têm opiniões conflitantes; o fato de que o resultado de um mesmo experimento pode ser interpretado de diferentes maneiras (todas científicas); o fato de que o cientista não resolve de imediato os problemas que se lhe apresentam, mas em geral dedica muito estudo – mudando por vezes de opinião ao longo do processo. Em suma, talvez as reflexões mais importantes que a atividade possa suscitar no estudante são que o conhecimento científico é **construído** – ele não surge repentinamente na mente do cientista, nem é um dogma a ser memorizado pelo aluno – e seu processo de construção é complexo.

O próprio Dalton, aliás, cujo nome é comumente citado no ensino médio de química, costuma ser objeto de equívocos a respeito de suas ideias. Não é incomum encontrar escritas em livros didáticos, e repetidas em sala de aula, afirmações de que Dalton, no início do século XIX, teria “retomado” a concepção atomista dos filósofos gregos Leucipo (fl. ca. 450 a.C.) e Demócrito (ca. 460 – 370 a.C.), que teria ficado “esquecida” ou “desaparecida” nesse intervalo superior a vinte séculos. Esse tipo de afirmação ignora outros atomistas da Antiguidade (como Epicuro [341 – 270 a.C.] e Lucrecio [96-55 a.C.]), bem como todos os pensadores que trabalharam com a hipótese atomista (ou corpuscular) ao longo dos séculos XVII e XVIII. Em texto voltado para professores do ensino médio, Luciana Zaterka (2006) expôs as ideias dos atomistas da Antiguidade em seu devido contexto, e apresentou também como Robert Boyle (1627 – 1691), já no século XVII, trabalha com a hipótese atômica – assim como muitos de seus contemporâneos, com os quais tem concordâncias e divergências – em um contexto bastante distinto daquele dos filósofos antigos. O desenvolvimento inicial da teoria atômica de Dalton, e como esta derivou, mais diretamente, não do atomismo grego, mas de ideias de Isaac Newton (1642 – 1727) sobre os átomos, é o tema de um dos estudos de caso apresentado mais adiante neste texto.

Outro nome conhecido dos professores de química é o de Lavoisier. Embora seja reconhecido como importante para o desenvolvimento da química moderna, em geral somente sua lei da conservação da massa é lembrada no contexto do ensino. Mais de duzentos anos após a publicação do original, seu *Tratado Elementar de Química* (Lavoisier, 2007) finalmente foi traduzido para a língua portuguesa – o que torna o trabalho de Lavoisier mais

acessível ao professor brasileiro. Algumas ideias expostas no *Tratado Elementar* são ainda úteis para o ensino de química na atualidade, e também para a discussão da construção do conhecimento científico, como também será discutido mais adiante. Citamos aqui estes poucos exemplos apenas para ilustrar as possibilidades didáticas de estudos de casos, tema que será retomado em capítulo específico do presente trabalho.

Finalmente, vale ressaltar que não existe uma “receita” para se trabalhar com os estudos de caso históricos em sala de aula. Os casos a discutir, bem como a forma de trabalhar, precisam ser escolhidos e definidos pelo professor, conforme seus objetivos e as características de seus alunos. Como em qualquer ação didática, o professor precisa exercer sua autonomia também na tomada dessas decisões.

Algumas considerações sobre a história da ciência e o ensino de ciências

Buscamos aqui promover algumas reflexões a respeito da aproximação entre a nova historiografia da ciência e o ensino de química. Acreditamos que o ensino de ciências em geral, e de química em particular, pode e deve se beneficiar das novas abordagens historiográficas desenvolvidas pelos historiadores da ciência nas últimas décadas. Será dessa maneira que o ensino poderá se beneficiar da interação com a história da ciência, desenvolvendo materiais e metodologias condizentes com a realidade contemporânea. Considerando a maneira como os objetivos para o ensino da química se colocam na atualidade, o esforço para alcançá-los passa, entre tantos outros aspectos, também por reflexões de caráter histórico, tanto para a formação de professores de química, como para o ensino médio, visando o desenvolvimento de competências e habilidades que se relacionam fortemente com uma visão crítica da complexidade da ciência. Tendo isso em vista, voltamos agora o nosso olhar para um instrumento muito utilizado, tanto por professores, quanto por alunos, nos contextos de ensino: o livro didático, a ser focado nos dois próximos capítulos. A análise crítica desses materiais, colocando em foco a história da ciência, permite caracterizar mais um elemento desse intrincado mosaico que é o ensino de química, e pensar em caminhos para seu aperfeiçoamento.⁹

⁹ O Capítulo 2 foi baseado em Porto, 2010a e Baldinato e Porto, 2008a.

Capítulo 3 – Investigando a presença da história da ciência em livros didáticos de química

Introdução

Os livros didáticos são importantes ferramentas no processo educacional, sendo, por vezes, considerado o principal eixo para a condução desse processo. Os professores os consideram importantes fontes de informação, que influem na organização do currículo, seleção de conteúdos e enfoque didático. Os alunos utilizam os livros didáticos para realizar atividades extraclasse, e também sofrem sua influência no que tange a estratégias de aprendizagem (Mol, Santos & Carneiro, 2005; Campanario 2001). Para expressivo contingente de alunos brasileiros, provenientes de famílias com baixo poder aquisitivo, o livro didático talvez “represente o único texto com que muitos brasileiros interagem durante suas vidas” (Fracalanza, Amaral & Gouveia, 1987, p. 28). Nesse contexto, é importante considerar que o governo brasileiro tem implementado programas voltados para melhorar a qualidade dos livros didáticos e facilitar o acesso dos alunos a esses materiais – como os recentes Programas Nacionais do Livro Didático, abrangendo os níveis de ensino fundamental e médio (Echeverria, Mello e Gauche, 2008; Megid Neto & Fracalanza, 2003). Machado (1997) argumenta que, devido ao grande público que interage com os manuais didáticos, este seja um tema candente, envolvendo questões muito complexas e que necessitam ser investigadas. Em recente artigo de revisão sobre os desafios enfrentados por aqueles que desejam inserir a história e a filosofia da ciência no ensino escolar de ciências, Höttecke e Silva apontam diversos aspectos relacionados aos livros didáticos entre os obstáculos a serem considerados (Höttecke & Silva, 2011).

Segundo Fracalanza *et alii* (1987), a escolha do livro didático como objeto de investigação decorre de dois fatores principais. O primeiro leva em consideração o aumento do número de vagas nas escolas de ensino fundamental e médio a partir dos anos 1960, e o segundo fator está relacionado ao aumento do número de professores egressos de instituições privadas de ensino. Muitos desses docentes, devido à falta de atualização adequada para a prática docente, ou às lacunas existentes em seus cursos de licenciatura, passaram a depender cada vez mais dos manuais escolares. Face à sua larga presença na prática pedagógica, os livros didáticos passaram a ser objeto de análises caracterizadas por diversos estilos e objetivos. Os aspectos analisados incluem a produção, a comercialização, a inserção do conhecimento na evolução histórica, a qualidade gráfica e a adequação de conteúdos dos livros didáticos. As relações entre os livros didáticos e as produções curriculares nas escolas

também são temáticas presentes em artigos, dissertações e livros. Dentre os aspectos citados por Loguércio (2001), a respeito dessas investigações, destaca-se a importância da elaboração de novos critérios para análise dos livros didáticos, com a intenção de aprimorar cada vez mais a escolha consciente em relação aos conteúdos e a sua finalidade, e quais as limitações de um livro didático.

Fracalanza (2005), em seu estudo que teve como objetivo investigar as pesquisas sobre o livro didático de ciências no Brasil, observou que a produção acadêmica sobre esse tema nos últimos trinta anos foi constituída por setenta e cinco teses. Pode parecer um número substancial; todavia, desse total, quarenta e quatro trabalhos eram voltados a livros para o ensino médio, e apenas nove eram relacionados com o livro didático de química. Em levantamento mais recente, Francisco e Queiroz (2010) identificaram treze dissertações de mestrado voltadas para o livro didático de química, defendidas em programas de pós-graduação em ensino de ciências, entre os anos de 2000 a 2008. Estes números sugerem que ainda há muito a ser feito no terreno da análise de livros didáticos, especialmente de química.

Cada livro didático traz consigo, explícita ou implicitamente, concepções a respeito da natureza da ciência e do conhecimento científico. Tais concepções são relevantes para o ensino de ciências, e constituem, por exemplo, um dos critérios para avaliação dos livros didáticos no âmbito do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM 2007) – o qual menciona a “natureza e construção da ciência” e o “tratamento dos conteúdos científicos”. Considere-se, a título de ilustração, a concepção de uma “descoberta científica”. Em muitos livros didáticos, a descoberta é mostrada como um evento instantâneo, e atribuída a um único cientista. De acordo com a contemporânea filosofia da ciência, porém, uma descoberta é mais bem caracterizada como um processo que pode se prolongar no tempo, e que se desenvolve no âmbito de uma comunidade científica. Conforme discutiu Thomas Kuhn, a descoberta do oxigênio constitui-se em um bom exemplo: não se tratava apenas de isolar uma nova substância, mas de compreender sua relação com as demais em um determinado contexto teórico (Kuhn, 1990, cap. 6). Ampliando essa discussão para a formação de profissionais de química, também é importante que se analise como o conhecimento científico é apresentado no ensino superior. Em suas investigações acerca do estado da arte na pesquisa em ensino de química, Francisco e Queiroz (2008; 2010) apontaram a escassez de trabalhos voltados para a análise de livros didáticos utilizados no ensino superior – lacuna para cujo preenchimento procuramos dar alguma contribuição. No âmbito do ensino superior, os livros didáticos têm a função de promover uma visão organizada do conhecimento científico compartilhado por uma determinada comunidade,

resumindo o consenso disciplinar dessa área. Ao destacar a importância dos livros didáticos na formação em ciências da Natureza, Kuhn já observara que o estudo dos clássicos da história da ciência não é encorajado nesse processo, pois este é destinado a imergir o estudante na matriz disciplinar contemporânea (Kuhn, 1989, pp. 279 – 280). Escrevendo sobre os livros didáticos, Kuhn afirmou:

É característica dos manuais¹⁰ científicos conterem apenas um pouco de história, seja um capítulo introdutório, seja, como acontece mais frequentemente, em referências dispersas aos grandes heróis de uma época anterior. Através dessas referências, tanto os estudantes como os profissionais sentem-se participando de uma longa tradição histórica. Contudo, a tradição derivada dos manuais, da qual os cientistas sentem-se participantes, jamais existiu. (...) [*Os livros didáticos*] referem-se somente àquelas partes do trabalho de antigos cientistas que podem facilmente ser consideradas como contribuições ao enunciado e à solução dos problemas apresentados pelo paradigma dos manuais (Kuhn, 1990, p. 175).

Desse modo, a história da ciência aparece nos livros didáticos com uma função persuasiva, de reafirmar a estrutura da ciência atual (Kuhn, 1990, p. 19). Embora essa estratégia didática seja compreensível, e venha obtendo sucesso no alcance dos objetivos a que se propõem, não deixa de ser paradoxal que, para ensinar ciência, seja omitida a análise de uma de suas características essenciais, que é o modo como ela é produzida. Em tempos mais recentes, como visto nos capítulos anteriores, outras funções foram propostas para a história da ciência no ensino. Nem sempre, porém, o conteúdo de história da ciência encontrado em livros didáticos está de acordo com o que se preconiza para o ensino de ciências na atualidade. Martins (2006) adverte para a série de informações inadvertidamente errôneas sobre a história da ciência que podem ser encontradas em livros didáticos, e que podem contribuir para a construção de visões inadequadas não apenas da história da ciência, mas da própria ciência.

Para fazer com que a história da ciência efetivamente contribua para esse processo de aprendizagem da ciência, o professor precisará dispor de fontes para consulta que sejam coerentes com seus propósitos, a fim de auxiliá-lo no processo de ensino. Considerando-se a larga utilização dos livros didáticos como fontes de consulta por boa parte dos professores do ensino médio, conforme apontam, por exemplo, Mortimer (1988), Lopes (1992), Mol *et alii*

¹⁰ Na edição brasileira, a palavra *textbook* foi traduzida como “manual”. Optamos por nos referir a esse gênero literário como “livro didático”. Entendemos que são livros didáticos “todas as obras cuja intenção original é explicitamente voltada para uso pedagógico e esta intenção é manifestada pelo autor ou editor” (Livres *apud* Bezerra & Bittencourt, 2006, p. 3092).

(2005) e Echeverria *et alii* (2008), é razoável supor que os professores também irão recorrer aos livros didáticos em busca de informações sobre a história da ciência.

Visando contribuir para esse debate, o objetivo deste capítulo é discutir – recorrendo à nova historiografia da ciência como instrumento crítico – o conteúdo de história da ciência presente em duas classes de livros didáticos de química: aqueles utilizados no ensino médio, e os utilizados no ensino superior brasileiro. Dentro desse amplo conjunto de publicações, foi feita uma delimitação bastante precisa, ainda que não exaustiva, mas que acreditamos ser representativa e capaz de fornecer informações relevantes para nossa análise. Dentre os livros de química para o ensino médio, foram selecionados aqueles aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio em 2007 (PNLEM 2007). Quanto aos livros para o ensino superior, nosso foco se dirigiu aos livros de química geral, voltados para disciplinas introdutórias desse nível de ensino. Os critérios para seleção destes últimos serão explicitados mais adiante.

Metodologia

Para proceder a essa investigação, partiu-se do instrumento de análise proposto por Laurinda Leite (2002), o qual foi desenvolvido para o levantamento de dados quantitativos relevantes a respeito dos conteúdos históricos em livros didáticos de ciências. Assim, pode-se não apenas mapear os tipos de abordagem mais utilizados, mas também observar como se dá a inserção dos conteúdos, fornecendo subsídios para posteriores reflexões e discussões. Algumas alterações foram inseridas no instrumento proposto por Leite (2002), em função das observações que foram sendo feitas no decorrer da pesquisa, visando esclarecer melhor alguns dos critérios utilizados e também adaptar as características do instrumento às peculiaridades da pesquisa.

O instrumento proposto por Leite (2002) está estruturado na forma de tabelas, que organizam diversas categorias de análise. Essas tabelas do instrumento constituem, na expressão utilizada pela autora, “dimensões” de análise. Essas grandes dimensões são oito, a saber:

- Tipo e organização da informação histórica;
- Materiais utilizados para apresentar a informação histórica;
- Contextos aos quais a informação histórica é relacionada;
- Estatuto do conteúdo histórico;
- Atividades de aprendizagem que abrangem a história da ciência;
- Consistência interna do livro (no que se refere à informação histórica);

- Bibliografia em história da ciência;
- Exatidão e precisão da informação histórica.

Nas três primeiras dimensões, o foco de análise é a informação inserida no texto: como ela aparece, quais são os aspectos abordados, etc. A primeira dimensão de análise se refere a "Tipo e organização da informação histórica", e se divide em subdimensões: a primeira diz respeito à dimensão humana dos personagens que fazem a ciência ("Personagens"); a segunda se refere ao processo de transformação da ciência ao longo do tempo ("Evolução da ciência"). Cada uma delas, por sua vez, se divide em categorias. Conforme esclarece Leite, essas categorias foram propostas a partir de fontes em história da ciência, estudo de concepções a respeito da história da ciência, e de estudos anteriores sobre como a história da ciência costuma aparecer em livros didáticos.

No que diz respeito à "Evolução da ciência", tenta-se caracterizar como é descrito o processo de transformação das ideias científicas ("Tipo de evolução"), e também a quem se atribui a responsabilidade por protagonizar esse processo ("Responsável"). Assim, na subdivisão "Tipo de evolução", aparecem cinco categorias. Na primeira, "Menção", a abordagem é superficial, não havendo discussão da descoberta ou ideia científica. Na segunda, caracteriza-se que o livro se limita a uma "Descrição" da descoberta ou ideia, sem relacioná-la a outras ideias em uma perspectiva de transformação histórica. Quando ideias que se sucederam historicamente são mencionadas ou descritas em um mesmo trecho, mas nenhuma relação entre elas é explicitada, caracteriza-se a categoria "Períodos discretos". Se a sucessão de ideias sugere apenas que uma levou à outra, tem-se a "Evolução linear". Finalmente, se a transformação das ideias for associada a debates, contradições e controvérsias, considerou-se como uma ocorrência de "Evolução real".

Na subdivisão "Responsável", as mudanças nas ideias científicas são categorizadas conforme são atribuídas a indivíduos isoladamente, a dois ou mais cientistas trabalhando em conjunto e citados nominalmente, ou ainda a uma comunidade científica (neste caso, quando o texto não indica nomes, mas apenas atribuições genéricas como "os cientistas descobriram", "os químicos sabiam", etc.).

Na segunda dimensão de análise, temos os materiais utilizados no livro para apresentar o conteúdo de história da ciência. As categorias consideradas foram: imagens de cientistas; imagens de equipamentos, máquinas, etc.; textos originais (fontes primárias); textos escritos pelo próprio autor do livro didático; fontes secundárias produzidas por outros autores; experimentos históricos; outros.

A terceira dimensão se refere à contextualização das ocorrências em história da ciência, isto é, se o conteúdo histórico estava inserido em algum dos seguintes contextos: científico; tecnológico; social; político; e (ou) religioso. Essa dimensão do instrumento original mereceu um novo ângulo de observação: o instrumento proposto por Leite sugere a contagem dos contextos a que o autor se refere nas ocorrências históricas. Porém, se um mesmo episódio estiver relacionado a mais de um contexto, isso poderá dar a impressão de que há mais ocorrências contextualizadas do que de fato há. Assim, procedemos também a contagem do número total de ocorrências que foram apresentadas de maneira contextualizada, de modo a ter mais uma informação relevante a esse respeito.

A quarta dimensão de análise diz respeito ao estatuto da informação histórica contida no texto. Assim, se procurou observar se as referências à história da ciência integravam o corpo principal do texto, ou se ocorriam em seções ou atividades consideradas complementares – sendo assim categorizadas como fundamentais ou complementares.

A quinta dimensão avalia atividades de aprendizagem (exercícios, por exemplo) que incluem alguma referência à história da ciência. A simples leitura de um texto de caráter histórico não foi considerada aqui como uma atividade: era preciso que algum outro tipo de engajamento do aluno estivesse envolvido, para que a ocorrência fosse computada nesta dimensão – a qual se divide em duas subdimensões. No que se refere ao “Estatuto da Atividade”, estas foram classificadas em compulsórias ou livres. Quanto ao “Tipo de Atividade”, as categorias são: guia de leitura; pesquisa bibliográfica; análise de informação histórica; experimentos históricos; outras atividades.

A sexta dimensão, intitulada “Consistência interna do livro”, se refere à maneira como as ocorrências em história da ciência se encontram distribuídas: se concentradas em apenas um ou poucos capítulos, se na maioria dos capítulos, ou se presentes ao longo de todo o texto.

Na sétima dimensão, referente à bibliografia, foram categorizados os diferentes tipos de livros indicados como referências, considerados como: livros de história da ciência; livros de ciência que abordam a história da ciência; ou livros de áreas afins (por exemplo: história geral, filosofia ou sociologia da ciência e divulgação da ciência).

Finalmente, a oitava e última dimensão, “Exatidão e precisão da informação histórica”, não se traduz na construção de tabelas, mas requer a análise qualitativa das ocorrências – sendo que, neste trabalho, adotou-se como referencial para essa análise a nova historiografia da ciência (Alfonso-Goldfarb & Beltran, 2004; Martins, 2004; Debus, 1991a; Kragh, 1987; Canguilhem, 1972 e 1977).

Além disso, para complementar essa análise qualitativa, procuramos analisar as ocorrências classificadas nas categorias “Descrição”, “Períodos discretos”, “Evolução linear” e “Evolução real” utilizando outros critérios, não presentes no instrumento proposto por Leite. A classificação de acordo com essas categorias complementares foi limitada apenas a essas ocorrências pelo fato de que representam ocorrências mais elaboradas do que a simples “Menção” a uma ideia ou descoberta científica.

Em uma das categorias complementares, intitulada “Teoria x prática”, se procurou analisar se o autor do livro relaciona o episódio científico com algum aspecto prático (seja como origem, ou como consequência da ideia ou descoberta), ou se apresenta o evento científico apenas sob o ponto de vista das teorias científicas por si mesmas. Nas outras categorias, se procurou identificar quais períodos históricos são predominantes nas ocorrências observadas, bem como a localização geográfica dos eventos (local de nascimento de cientistas, localização de laboratórios, etc.) citados nos livros.

Para cada livro, procedemos inicialmente a marcação de todas as ocorrências relacionadas à história da ciência: textos presentes no corpo dos capítulos, ilustrações, exercícios, caixas de textos e seções sugerindo leituras complementares. Todas essas ocorrências foram então classificadas de acordo com as categorias que constam do instrumento descrito acima. As atribuições foram feitas de maneira independente por dois pesquisadores, e os casos discrepantes foram discutidos até se chegar a um consenso. Do total de dimensões, apenas duas são apresentadas aqui na análise dos livros de ensino médio: “Tipo e organização da informação histórica” – para a qual foram feitas algumas modificações em relação ao instrumento original, de modo a melhor se adaptar aos nossos objetivos de análise; e “Exatidão e precisão da informação histórica” – para a qual optamos por escolher um episódio histórico citado nos seis livros didáticos e analisar esses relatos à luz da nova historiografia da ciência. Para os livros de ensino superior, resultados referentes às oito categorias serão apresentados aqui, bem como as adaptações feitas em relação ao instrumento proposto por Leite (2002).

Livros para o Ensino Médio

Conforme mencionado anteriormente, para esta investigação foram escolhidos os seis livros selecionados pelo PNLEM 2007. Embora reconhecendo que a amostra é pequena, face ao número de livros didáticos de química editados no Brasil, consideramos a amostra significativa, em função de sua extensiva distribuição em todo o território nacional. Nesse

sentido, seu potencial impacto sobre o ensino de química no Brasil é bastante considerável. Os livros escolhidos estão na tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Livros escolhidos.

Código de identificação	Referências
LD1	BIANCHI, J. C. A., ALBRECHT, C. H., MAIA, D. J. <i>Universo da química: ensino médio</i> . 1ª ed. São Paulo: FTD, 2005.
LD2	FELTRE, R. <i>Química geral</i> , v.1. 5ª ed. São Paulo: Moderna, 2000.
LD3	PERUZZO, F. M., CANTO, E. L. <i>Química geral e inorgânica</i> , v.1. 3ª ed. São Paulo: Moderna, 2003.
LD4	MORTIMER, E. F., MACHADO, A. H. <i>Química</i> . 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2005.
LD5	NÓBREGA, O. S., SILVA, E. R., SILVA, R. H. <i>Química</i> . 1ª ed. São Paulo: Ática, 2005.
LD6	SANTOS, W. L. P., MOL, G. S. <i>Química e sociedade</i> , 1ª ed. São Paulo: Nova Geração, 2005.

Livros para o Ensino Superior

Para a escolha dos títulos de química geral utilizados no ensino superior que seriam analisados, foi feito um breve levantamento via Internet, nos sítios de disciplinas de química geral de cursos de graduação em química de Universidades brasileiras (USP, UFMG, UFSC, UnB, Mackenzie [São Paulo, SP]). Tal levantamento não teve a pretensão de ser completo ou abrangente: apenas teve a finalidade de balizar a escolha de livros que estejam efetivamente difundidos no contexto do ensino de química geral. Dentre os vários livros sugeridos nas bibliografias das disciplinas, foram selecionados dois, que têm sido largamente utilizados em cursos introdutórios de química: *Química Geral e Reações Químicas*, de Kotz e Treichel; e *Princípios de Química*, de Atkins e Jones. Além desses, foi investigado também o livro *Química*, de Garritz e Chamizo que, embora não seja tão indicado em disciplinas introdutórias de ensino superior quanto os dois livros anteriores, foi escolhido porque seus autores demonstraram a preocupação de inserir conteúdos de história da ciência no desenvolvimento dos temas em estudo, com ênfase muito maior que os autores dos outros dois livros – sendo portanto um material interessante para a reflexão a respeito das possibilidades de aproximação da história da ciência ao ensino de química. Para que houvesse maior uniformidade na comparação entre os livros, procurou-se abranger uma extensão de capítulos que cobrisse,

aproximadamente, os mesmos conteúdos nos três. Assim, tomou-se apenas o volume 1 do livro de Kotz & Treichel, que consta de dois volumes. O livro de Atkins & Jones, por sua vez, apresenta em seu início uma grande seção introdutória com fundamentos de química geral, seguida por capítulos numerados. Deste livro foram analisados da Introdução até o capítulo 8 (inclusive). O volume único do livro de Garritz & Chamizo foi analisado em sua totalidade.

Resultados e discussão

Livros para o Ensino Médio

Os resultados obtidos estão a seguir. As tabelas trazem sempre dois números para cada categoria observada em cada livro: o primeiro é o número absoluto de ocorrências para aquela categoria; o segundo número refere-se à porcentagem correspondente, considerando-se o número total de ocorrências para aquela dimensão.

1. Personagens (pensadores, filósofos, cientistas)

1.1) Informações biográficas (pelo menos nome, e as datas de nascimento e morte).

1.2) Características pessoais (sentimentos, caráter, humor, etc.).

1.3) Episódios / curiosidades (casado com..., decapitado por..., etc.).

Leite (2002) utiliza, em seu instrumento, apenas a denominação “cientista”. Para maior precisão, preferimos adicionar ao título da categoria também as denominações “filósofos” e “pensadores”, considerando que o termo cientista somente começou a ser utilizado, na sua acepção atual, no decorrer do século XIX (Kragh, 1987, p. 25).

Tabela 2 – Personagens.

Personagens	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6	
Informações biográficas	217	98	80	85	77	95	104	99	89	99	296	96
Características pessoais	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	0,1
Episódios / curiosidades	4	2	14	15	4	5	1	1	-	-	12	3,9
Totais	221	100	94	100	81	100	105	100	90	100	309	100

Grande parte dos dados relativos à vida dos personagens se restringe apenas ao nome e às datas de nascimento e morte – em todos os livros esse aspecto corresponde a mais de 85% das ocorrências para essa dimensão. Dificilmente encontramos descrições de aspectos da vida

pessoal dos cientistas, pesquisadores ou filósofos. Esse tipo de abordagem, ao não dar uma dimensão humana aos personagens da ciência, não favorece a superação de estereótipos bastante difundidos – como o de que os cientistas são pessoas que trabalham isoladas, por possuírem uma inteligência exclusiva de uma ínfima parcela da população (Cachapuz *et alii*, 2005).

2. Abordagem das ideias / descobertas

2.1) Menção a uma ideia científica (uma descoberta, ou, de modo mais geral, uma ideia científica é mencionada).

2.2) Descrição de uma ideia científica (a ocorrência de uma descoberta ou ideia é descrita).

Consideramos menção a uma ideia científica quando esta é apenas citada, sem maiores explicações (por exemplo, “cientista X descobriu o fenômeno Y”, ou “cientista X formulou a lei Y”). Quando, porém, o texto inclui explicações a respeito da metodologia, teoria, circunstâncias – enfim, algum detalhamento a respeito do modo como a ideia foi originada, classificou-se como descrição da ideia científica.

Tabela 3 – Abordagem das ideias / descobertas.

Abordagem das ideias / descobertas	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6	
	Menção a uma ideia científica	169	94	59	96	41	85	63	87,5	72	90	212
Descrição de uma ideia científica	10	6	2	4	7	15	9	12,5	8	10	2	1
Totais	179	100	61	100	48	100	72	100	80	100	214	100

Os resultados obtidos mostram o predomínio da simples menção às ideias científicas, em relação a descrições das ideias em sua construção histórica. O trecho a seguir é exemplo de **menção** a ideias científicas, que não se fazem acompanhar de maiores explicações a respeito de como foram geradas, quais os questionamentos que conduziram a elas, etc.:

Proust concluiu que a composição química das substâncias compostas é sempre constante, não importando sua origem. Em outras palavras, uma certa substância composta, seja obtida de fontes naturais ou produzida em laboratório, sempre é formada pelos mesmos elementos químicos numa mesma proporção, em massa. Essa generalização ficou conhecida como Lei das Proporções Constantes, ou Lei de Proust. (LD3, p. 48).

O fragmento transcrito a seguir, por sua vez, fornece exemplo do que consideramos como **descrição** de ideias científicas:

Esse [*i. e.*, o gás carbônico] foi o primeiro gás a ser isolado e a ter suas propriedades determinadas, o que foi feito pelo escocês Joseph Black (1728-1799). Black fez reagir ácido com magnésia (carbonato de magnésio) $[MgCO_3]$, obtendo um sal e um gás, o que foi chamado “ar fixo”, uma vez que, de alguma forma, estaria “preso” à substância sólida utilizada. Esse gás também foi obtido pelo aquecimento da magnésia. Estudando as propriedades do “ar fixo”, Black observou que se tratava de um gás diferente do “ar” já conhecido, pois não mantinha a chama de uma vela. Além disso, quando se colocava água de cal (solução de hidróxido de cálcio) em um frasco com esse gás, ocorria a formação de um sólido branco. Desse modo, Black também demonstrou que o “ar fixo” possuía grande semelhança com o ar expirado pelos seres vivos (LD5, p. 239).

A simples menção a uma ideia ou descoberta científica está presente nos livros sempre com incidências superiores a 80%. Esses números apontam para o fato de que a informação histórica apresentada nos livros didáticos é predominantemente leve e superficial. A simples menção não favorece reflexões a respeito do processo de construção do conhecimento científico, e em geral servem apenas para apresentar, exemplificar ou reforçar conteúdos.

3. Evolução da ciência

3.1) Menção a períodos discretos (dois ou mais períodos ou ideias são mencionados, mas não são relacionados entre si).

3.2) Evolução linear e direta (um período é relacionado ao seguinte, mantendo uma direção).

3.3) Evolução real (movimento de “idas e voltas” entre opiniões, incluindo controvérsias).

Consideramos períodos discretos quando o texto não inclui um encadeamento explícito entre duas ou mais ideias científicas ocorridas em períodos distintos. Quando o texto apresenta diversos eventos em sequência, sugerindo que um seguiu naturalmente ao anterior, classificamos como evolução linear e direta. Finalmente, os casos em que as ideias científicas são apresentadas de maneira a sugerir descontinuidades, controvérsias, retomadas de ideias antes abandonadas, foram classificados como exemplos de evolução real da ciência.

Tabela 4 – Evolução da ciência.

Evolução da ciência	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6	
Menção a períodos discretos	6	13	-	-	3	21	6	21	9	33	6	13
Evolução linear e direta	32	71	10	100	11	79	20	69	17	63	38	81
Evolução real	7	16	-	-	-	-	3	10	1	4	3	6
Totais	45	100	10	100	14	100	29	100	27	100	47	100

Os resultados obtidos mostram um pequeno número de incidências no que diz respeito aos relatos que descrevem a evolução da ciência através de menção a períodos discretos, como no exemplo que se segue:

O mundo científico habituou-se a ver o físico francês Henri Becquerel e o casal franco-polonês Pierre e Marie Curie como os primeiros desbravadores do mundo das partículas radioativas. Isso é verdade em parte – sem as experiências e observações deles e de outros físicos, apresentadas a partir de 1896 na Academia de Ciências de Paris, não haveria oportunidade para novas descobertas e hipóteses. Mas foi o trabalho teórico de dois físicos, Ernest Rutherford, da Nova Zelândia, e Frederic Soddy, da Inglaterra, que efetivamente explicou como ocorrem as atividades radioativas. Entre novembro de 1902 e maio de 1903, eles publicaram uma série de cinco artigos em que apresentavam a hipótese de que a radioatividade está associada a fenômenos atômicos de desintegração... (LD1, p. 78).

Observa-se que, na maioria das vezes, as transformações da ciência são descritas como um processo linear e direto – como se o conhecimento fosse simplesmente sendo melhorado com o passar do tempo, sem controvérsias ou rupturas. Bizzo (1992) critica essa forma de se introduzir a história da ciência no ensino:

A primeira questão a ser colocada é a de que a ideia do passado auxiliando a compreensão do presente pressupõe a existência de um *continuum* entre um momento e outro. Em outras palavras, a ideia aplicada ao ensino das Ciências demanda um conceito na qual as teorias de hoje sejam vistas como estreitamente aparentadas com as teorias do passado. A compreensão do passado equivaleria à compreensão de parte significativa do presente (Bizzo, 1992, p. 29).

O seguinte trecho é representativo da categoria “evolução linear e direta”:

O cientista inglês John Joseph Thomson, elaborando melhor as experiências feitas com tubos catódicos, **foi capaz de concluir**, em 1887, que os raios catódicos são,

na verdade, constituídos pelo fluxo de partículas menores que o átomo e dotadas de carga elétrica negativa. **Estava descoberta** a partícula que chamamos de elétron. Após essa descoberta, **estava provado** que o átomo não é indivisível como imaginavam os filósofos gregos ou como sugeria o modelo de Dalton. (LD3, p.65, grifos nossos).

Os termos grifados podem sugerir, implicitamente, algumas concepções inadequadas sobre o processo de construção da ciência. Os estudantes podem assimilar a ideia de um único experimento, em uma determinada data, seria capaz de “derrubar”, uma teoria, levando imediatamente a uma outra. Kuhn (1990) argumentou que as descobertas “não são eventos isolados, mas episódios prolongados, dotados de uma estrutura que reaparece regularmente” (Kuhn, 1990, p. 78). Ou seja, a transformação das ideias científicas não segue automaticamente o resultado de um experimento, e o uso da palavra “comprovar”, nesse contexto, é problemática. Mais importante do que apenas enumerar linearmente a sucessão de “descobertas” ou ideias, seria procurar discutir com os estudantes que “a descoberta de um novo tipo de fenômeno é necessariamente um acontecimento complexo que envolve o reconhecimento tanto da existência de algo, como de sua natureza” (Kuhn, 1990, p. 81). A simples menção a uma “descoberta” não fornece elementos para que docentes e discentes construam uma concepção plausível de ciência, que lhes dê uma adequada visão a respeito das controvérsias e acontecimentos equívocos que povoam a ciência através dos tempos.

Finalmente, dois exemplos classificados como “evolução real da ciência” são citados a seguir:

A concepção dos alquimistas de um universo vivo e compreendido por meio de signos e símbolos começa a romper-se no século XVII, dando lugar a uma interpretação quantitativa e mecanicista do mundo e da matéria. A interpretação quantitativa foi possível graças ao aprimoramento de instrumentos de medida, como a balança. A interpretação mecanicista baseava-se na ideia de que os fenômenos naturais são regidos por leis que podem ser formuladas matematicamente. Essa concepção de mundo rejeita qualquer interpretação abstrata ou subjetiva dos fenômenos... (LD5, p. 15).

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. Essa teoria, no entanto, abria um novo caminho para entender o átomo, com a proposta de Niels Bohr de um modelo para o átomo (LD4, p. 104)

Observam-se, nos dois casos, referências a rupturas, a formas concorrentes de se interpretar o mundo físico. Embora trechos assim sucintos não garantam que os alunos irão desenvolver uma ideia a respeito da complexidade da atividade científica, ainda assim são importantes para marcar que a ciência não se faz por acúmulo de informações.

4. Evolução da ciência / responsável

4.1) Cientistas, filósofos ou pensadores individuais (um personagem é apresentado como sendo o único responsável por uma ideia ou descoberta).

4.2) Grupo de filósofos, pensadores ou cientistas (dois ou mais personagens trabalharam juntos com o mesmo propósito).

4.3) Comunidade científica (cientistas, filósofos ou pensadores de um período são responsáveis pela ideia ou descoberta, sem que haja especificação de nomes).

A Tabela 5 reúne os dados a respeito de a quem os livros didáticos atribuem as transformações na ciência.

Tabela 5 – Evolução da ciência / responsável.

Evolução da ciência / responsável	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6	
	Personagens individuais	140	85	49	90,7	29	74	48	87	72	95	185
Grupos de personagens	19	12	3	5,5	7	18	7	13	2	2,5	24	11
Comunidade científica	6	3	2	3,8	3	8	-	-	2	2,5	3	2
Totais	165	100	54	100	39	100	55	100	76	100	212	100

Verifica-se uma elevada incidência da concepção de que a ciência é desenvolvida pelo trabalho de personagens individuais. Segue-se um exemplo:

Em 1932, o cientista James Chadwick **provou** que no núcleo, além de prótons (que são positivos), existem também partículas sem carga elétrica, que por esse motivo foram denominadas nêutrons – confirmando-se assim a existência da terceira partícula subatômica. De certa maneira, os nêutrons “isolam” os prótons, evitando suas repulsões e o conseqüente “desmoronamento” do núcleo (LD2, p. 89, grifo nosso).

Por outro lado, a ideia de que a atividade científica resulta da colaboração entre os cientistas, ou por uma comunidade, tem destaque relativamente menor. O fragmento a seguir exemplifica a referência a grupos de personagens da ciência:

As propostas para a existência dessas partículas [prótons, nêutrons e elétrons] foram sendo elaboradas na tentativa de explicar resultados de experimentos feitos ao longo do século XIX e início do século XX. Em 1911, já se conhecia a existência de elétrons e prótons, mas não se tinha uma ideia precisa sobre como essas partículas se distribuía no átomo. Como resultado dos experimentos realizados desde 1909 **por Geiger e Marsden, sob a sua supervisão, Rutherford** foi capaz de elaborar esse novo modelo para o átomo, introduzindo ideias que seriam preservadas em modelos posteriores – a existência do núcleo atômico e da eletrosfera. **Os esforços desses pesquisadores resultaram** no desenvolvimento de métodos mais modernos de contagens de partículas radioativas, que culminaram no desenvolvimento do contador Geiger, que recebeu esse nome em homenagem ao aluno de Rutherford (LD4, pp. 95 – 96, grifos nossos).

Finalmente, para exemplificar um dos escassos relatos da contribuição de comunidades científicas, pode-se citar o trecho a seguir:

As diferenças entre os diversos sistemas de medida criavam obstáculos na comunicação científica. Por essa razão, no século XVII, cientistas europeus mostravam a importância de um sistema de medidas que fosse adotado pelas diversas nações. Por recomendação da Academia Francesa de Ciências, em 1799 adotou-se como unidade de comprimento o metro, cuja definição estabeleceu que equivaleria à décima milionésima parte da distância do pólo Norte ao equador, pelo meridiano que passa por Paris (LD1, p. 137).

A caracterização mais adequada do empreendimento científico deveria incluir seu caráter coletivo, procurando fazer com que os alunos compreendessem que o conjunto de conhecimentos, procedimentos, ferramentas e costumes característicos do fazer científico atual resultam da dinâmica da comunidade de pesquisadores, como sugere Martins:

Nosso conhecimento foi sendo formado lentamente, através da contribuição de muitas pessoas sobre as quais nem ouvimos falar e que tiveram importante papel na difusão e aprimoramento da ideias dos cientistas [ou filósofos, ou pensadores] mais famosos, cujos nomes conhecemos (Martins, 2006, p. xviii).

Ocorrências classificadas na categoria “comunidade científica” podem contribuir para desenvolver a ideia de que quem faz ciência também está inserido em um grupo, ou comunidade, de pessoas que trabalham com objetivos semelhantes.

5. Exatidão e precisão da informação histórica – o caso da síntese artificial da ureia

Observou-se que os seis livros didáticos incluem relatos a respeito da síntese artificial da ureia. Assim, constitui-se em um caso propício para a análise da qualidade das informações, e das abordagens historiográficas, adotadas pelos autores. São transcritos a seguir três trechos representativos dos livros didáticos investigados:

Friedrich Wöhler: químico alemão, nasceu em 1800 e faleceu em 1882. Estudou com Berzelius, do qual se tornou grande amigo. A síntese da uréia, a partir do cianato de amônio, imortalizou Wöhler e foi o ponto de partida para a derrubada da teoria da força vital, defendida por seu amigo Berzelius (LD2, v. 3, p. 4).

Em 1828, o químico alemão Friedrich Wöhler tentava sintetizar uma substância inorgânica, o cianato de amônio, a partir de duas outras substâncias inorgânicas: o cianato de potássio e o sulfato de amônio. Para isso, aqueceu os dois sais juntos, esperando encontrar o cianato de amônio. Observou, no entanto, a formação de cristais brancos cuja análise revelou ser uréia, substância presente na urina dos mamíferos. Acidentalmente, Wöhler sintetizou uma substância orgânica a partir de substâncias inorgânicas, sem usar nenhuma “força vital”. Esse feito rompeu a barreira estabelecida entre o mundo animado e o inanimado. Os cientistas ficaram, então, mais inclinados a acreditar que as leis da química orgânica eram semelhantes, ou mesmo idênticas, às da química inorgânica. Com isso, os químicos passaram a analisar as substâncias orgânicas e a fazer uso da teoria atômica para atribuir-lhes fórmulas, com procedimentos semelhantes aos utilizados para os compostos inorgânicos (LD5, p. 206).

As primeiras preocupações da química orgânica nascente eram os materiais de origem animal e vegetal, tais como urina, sangue, gorduras, cabelos, açúcares, resinas, ceras etc. A aparente complexidade desses materiais levou químicos como Berzelius a acreditar que os organismos vivos eram capazes de sintetizá-los devido a uma força misteriosa neles existente. Era chamada Teoria da Força Vital. Em 1828, essa teoria foi violentamente abalada quando um químico alemão, Friedrich Wöhler, aquecendo cianato de amônio, provocou uma reação química, na qual esse composto inorgânico se transformou em uréia. A uréia (substância presente na urina dos mamíferos) segundo as idéias da época, só seria produzida em organismos vivos, possuidores da força vital. Nos anos que se seguiram, com o desenvolvimento do conceito da conservação de energia, parecia não haver mais lugar para a “força vital” (LD3, v. 3, p. 6).

Embora, por concisão, tenhamos transcrito aqui fragmentos de apenas três livros, os demais livros analisados seguem panorama semelhante. De maneira geral, podemos verificar alguns consensos entre os autores dos livros didáticos em seus relatos históricos.

Primeiro, existe unanimidade na afirmação de que a síntese da uréia, realizada por Friedrich Wöhler (1800-1882) em 1828, contribuiu para o descrédito em relação à “teoria da força vital” (ou vitalismo, como preferem alguns autores), defendida por cientistas da época. O segundo consenso diz respeito a considerar como não problemática, na época de Wöhler, a classificação do cianato de amônio como uma substância inorgânica. O terceiro consenso, implícito como o segundo, é considerar, também de maneira não problemática, a questão da distinção entre compostos químicos orgânicos e inorgânicos.

Esses relatos diferem dos produzidos por historiadores da ciência. Segundo o historiador da ciência T. O. Lipman (1964), o vitalismo não era uma doutrina monolítica, pois existiam diversas concepções a respeito da força vital. Apenas para citar algumas concepções, uma delas sugeria que os seres vivos poderiam produzir compostos orgânicos, devido a seu alto grau de instabilidade e da complexidade de sua composição. Outra considerava que as transformações orgânicas eram governadas por forças diferentes das que governavam as transformações inorgânicas. Uma terceira sugeria que a afinidade química era responsável pelas transformações inorgânicas e a força vital era responsável pelas transformações orgânicas. Como último exemplo, podemos citar a hipótese da existência de um “princípio dirigente” nos seres vivos, que seria capaz de interagir com os elementos químicos na formação de compostos orgânicos.

Considerando a variedade e abrangência dessa doutrina, um único experimento não seria suficiente para levar a seu abandono – mesmo porque, muitos de seus desdobramentos não tinham qualquer relação com a síntese feita por Wöhler. O próprio Jöns Jacob Berzelius, por exemplo, escreveu na primeira seção do seu *Lehrbuch der Chemie*, já em 1847, que na natureza viva os elementos parecem obedecer a leis diferentes dos materiais inorgânicos – evidenciando que nem mesmo entre os químicos a síntese da ureia abalou, ou muito menos derrubou, o vitalismo. De fato, até por volta do início da Segunda Guerra Mundial o debate a respeito da matéria viva ainda era acalorado (Priven, 2006).

O próprio Wöhler especulou, na época, em torno de possíveis críticas à caracterização de sua síntese como a preparação de uma substância orgânica a partir de substâncias inorgânicas. Afinal, o cianato utilizado por ele não era preparado a partir de substâncias elementares, mas por oxidação de um cianeto proveniente de cascos e chifres de animais; logo, a origem inorgânica do reagente poderia ser posta em questão (Brooke, 1968, p. 92).

O pesquisador J. H. Brooke (1968) sugeriu que o próprio conceito de composto orgânico era problemático, não existindo uma linha bem definida para separar todos os compostos químicos em dois grupos distintos. Vejamos algumas controvérsias da época, destacadas por Brooke. Eilhard Mitscherlich (1794-1863) considerou, em seu *Elemens de chimie* de 1835, que amônia e gás carbônico eram compostos de natureza orgânica. Jean Baptiste Dumas defendeu a tese, em seu *Traité de chimie appliquée aux arts* de 1828, que naftaleno e gás carbônico eram compostos inorgânicos. Já para Berzelius, em *Essai sur la théorie des proportions chimiques* de 1819, todos os compostos orgânicos deveriam possuir oxigênio em sua estrutura; logo, o gás carbônico poderia ser orgânico. Resumindo, não havia um consenso, e as classificações podiam variar de um pesquisador para outro.

Embora os artigos elaborados por Lipman e Brooke tenham mais de quarenta anos, ainda é possível encontrar relatos equivocados sobre o episódio histórico da síntese artificial da ureia em livros didáticos não apenas brasileiros, mas também de outros países. Tendo analisado 35 livros didáticos destinados ao ensino superior, Cohen e Cohen (1996) observaram que uma considerável parcela dos livros descreve que a síntese da uréia foi aceita pelos contemporâneos de Wöhler como uma prova que o vitalismo estava errado, e alguns descrevem que a força vital deixou de existir em 1850. Na maioria dos livros, os autores e autoras descrevem que Wöhler partiu do cianato de amônio (uma substância inorgânica) para a obtenção da ureia, apesar de um dos livros conter a descrição de que o químico alemão não utilizou esse reagente inicialmente. A maioria dos livros analisados por Cohen e Cohen sugere também que havia uma crença generalizada entre os pesquisadores do século XIX na existência de uma separação entre substâncias orgânicas (que não poderiam ser produzidas em laboratório) e inorgânicas. Infere-se, como demonstrou P. J. Ramberg (2000), que o experimento de Wöhler foi transformado em um “mito de criação” da química orgânica no século XIX, e os livros didáticos vêm repetindo acriticamente essa visão. Pelo menos até o momento, observa-se que algumas abordagens dos livros didáticos não consideram o conhecimento produzido por historiadores da ciência, o que reforça a percepção de que é necessária maior aproximação entre os autores de livros e fontes atualizadas em história da ciência.

Livros para o Ensino Superior

Dimensão 1 – Tipo e organização da informação histórica

Conforme mencionado acima, ao fazer a análise dos livros, algumas alterações foram introduzidas no instrumento proposto por Leite, de modo a possibilitar um levantamento mais

detalhado e informativo a respeito do perfil da informação analisada. Em nossa primeira dimensão de análise, “Tipo e organização da informação histórica”, a subdivisão “Caracterização” do cientista inclui uma categoria não existente no instrumento original: “Sem atribuição”. Observou-se que grande parte das ocorrências de caracterização dos cientistas, ao contrário do que sugeria o instrumento de Leite, aparece sem caracterizar o cientista como gênio ou como uma pessoa comum. Entendeu-se que não atribuir características ao cientista não é o mesmo que caracterizá-lo como uma pessoa comum, daí a necessidade de se criar a nova categoria.

A Tabela 6 mostra os números totais de ocorrências dessas categorias, para cada um dos três livros investigados.

Tabela 6. Tipo e organização da informação histórica - Personagens.

Categorias	Kotz & Treichel	Atkins & Jones	Garritz & Chamizo
Personagens (pensadores, filósofos, cientistas)			
Vida dos personagens			
Informações biográficas	52	46	110
Características pessoais	-	-	7
Episódios / curiosidades	4	5	21
Caracterização			
Famoso/Gênio	3	4	49
Pessoa comum	1	-	1
Sem atribuição	73	79	172

Observa-se um perfil semelhante nos livros de Kotz & Treichel e Atkins & Jones. Em ambos, a tendência é apresentar os cientistas por meio de informações biográficas que não chegam a ser suficientes para delinear sua dimensão humana. Em geral, essas informações se resumem ao nome do cientista, suas datas de nascimento e morte e, com frequência um pouco menor, sua nacionalidade. Quanto à caracterização, observa-se que a categoria “Sem atribuição” predomina, e nas poucas vezes em que alguma característica foi atribuída aos cientistas, foi no sentido de apresentá-lo como “gênio” ou “famoso”.

Quanto aos resultados obtidos para o livro de Garritz & Chamizo, primeiramente, chama a atenção a quantidade de ocorrências que aparece nele. Se nos dois livros analisados anteriormente o número total de ocorrências não chega a uma centena, no livro de Garritz & Chamizo esse número chega a 211 ocorrências. Também se observa maior distribuição das ocorrências entre as diversas categorias consideradas.

Analisando os resultados referentes a “Vida dos personagens”, o livro de Garritz & Chamizo seguiu de certa forma a tendência identificada nos outros dois livros, ao dar ênfase para as características biográficas. Por outro lado, este livro inseriu informações a respeito das características pessoais dos cientistas, diferente dos anteriores que não contemplaram essa categoria. Na subdivisão de análise “Caracterização”, semelhante aos outros livros, na maioria das vezes os cientistas são apresentados sem caracterização pessoal, nem como “gênios”, nem como “pessoas comuns”. Entretanto, bem diferente dos livros de Atkins & Jones e Kotz & Treichel, tanto em termos absolutos como relativos, a quantidade de ocorrências em que são apresentadas características de genialidade, fama ou destaque dos cientistas é significativa. Fugindo à tendência de superficialidade dos outros dois livros, Garritz & Chamizo buscam chamar a atenção e atribuir importância também para cientistas latinoamericanos, numa proposta de tentar aproximar os estudantes da ciência que é feita nos países da região. Observa-se que esse recurso tem um significado diferente do que nos outros livros analisados, pois Garritz & Chamizo buscam se utilizar da história da ciência para alcançar maior envolvimento afetivo dos alunos, e não para simplesmente apresentar dados superficiais a respeito de cientistas. Ainda assim, praticamente não se observa a caracterização do cientista como “pessoa comum” – o que pode provocar um efeito oposto ao desejado, isto é, não conseguir com que o estudante se identifique com o cientista.

Tabela 7. Tipo e organização da informação histórica – Evolução da Ciência.

Categorias		Kotz & Treichel	Atkins & Jones	Garritz & Chamizo
Evolução da ciência				
Tipo de evolução	Simples menção	59	56	104
	Descrição	9	13	35
	Períodos discretos	2	1	6
	Evolução linear	10	15	41
	Evolução real	6	3	25
Responsável				
	Cientista individual	53	66	195
	Grupo de cientistas	15	7	30
	Comunidade científica	14	24	87

Na dimensão “Evolução da ciência”, a categoria “Simples menção” revela superficialidade quanto à informação histórica, enquanto as categorias “Evolução linear” e “Evolução real” pressupõem um pouco mais de aprofundamento, trazendo concepções implícitas a respeito do processo de evolução da ciência. Observa-se, na Tabela 7, que os dois

livros mais recomendados apresentam uma abordagem histórica mais superficial, tanto pela pequena quantidade total de ocorrências, como pelo fato de a maioria das ocorrências serem menções ou descrições. Totalizando as ocorrências, os números são bastante parecidos: 88 no total no livro de Atkins & Jones, e 86 no total para Kotz & Treichel. Em ambos, a grande maioria das ocorrências aparece na forma de “simples menção” a fatos ou descobertas na ciência. Essa categoria nos mostra como a história da ciência aparece de maneira pouco aprofundada. Quando aparece com um pouco mais de aprofundamento, conforme nos mostram as categorias seguintes, observamos que a categoria “Evolução linear” aparece de forma predominante, seguida de “Descrição”. Mas há uma pequena diferença quanto ao aprofundamento das ocorrências: aparece maior número de ocorrências mais aprofundadas em Atkins & Jones. Entretanto, esse aprofundamento se concentra mais em “Evolução linear”, enquanto observamos maior distribuição em Kotz & Treichel. Na subdimensão “Responsável”, observamos que as mudanças na ciência, na maior parte das vezes, são atribuídas a cientistas individuais, mais do que a grupos de cientistas ou à comunidade científica como um todo. Em resumo, tem-se uma história da ciência apresentada como um desenvolvimento linear, trabalhada sem muito aprofundamento, onde os cientistas, também apresentados de maneira superficial, através de escassos dados biográficos, trabalhando individualmente, são responsáveis por esse desenvolvimento da ciência. É uma concepção de história da ciência que remete a uma abordagem historiográfica hoje considerada ultrapassada.

Com relação à apresentação da “Evolução da ciência”, o livro de Garritz & Chamizo também se diferencia dos demais. De fato, a categoria mais presente é a menção a episódios, o que poderia sugerir uma abordagem mais superficial. Entretanto, as demais categorias (“Descrição”, “Períodos discretos”, “Evolução linear” e “Evolução real”), que sugerem uma abordagem mais aprofundada, somadas, superam o número de simples menções. Dessa forma, o livro tende a aprofundar o conteúdo histórico – diferente dos anteriores, nos quais as quatro categorias citadas somavam por volta de metade do número de ocorrência de “Menções”. Em Garritz & Chamizo, observa-se melhor distribuição das ocorrências entre essas quatro categorias, embora as mais recorrentes sejam a “Evolução linear” e a “Descrição” – que podem não ser as mais adequadas para desenvolver uma visão da complexidade da construção da ciência.

No que se refere à subdivisão “Responsável” pela evolução da ciência, na maioria das vezes as ideias ou descobertas foram atribuídas a um cientista trabalhando individualmente; porém, o número de menções a “Comunidade científica” também é significativo.

Considerando os assuntos dos capítulos onde há ocorrências em história da ciência, observa-se que o maior número delas aparece no capítulo sobre “Os Componentes dos Átomos” – o que coincide com o que foi observado nos dois outros livros analisados. O menor número de ocorrências encontra-se no capítulo intitulado “Reações de Oxirredução”, novamente coincidindo com a observação dos demais livros. Observando as categorias em que o conteúdo histórico é mais aprofundado (“Descrição”, “Períodos discretos”, “Evolução linear” e “Evolução real”), nota-se que elas aparecem em menor número no primeiro capítulo do livro, “A Química e Nosso Mundo”, enquanto que o maior número delas encontra-se no capítulo referente à teoria atômica.

Pode-se destacar, também, que nas seções introdutórias de cada capítulo, Garritz & Chamizo inserem textos de uma ou duas páginas, enfocando a trajetória profissional de algum cientista latinoamericano que tenha destaque internacional, buscando aproximar os estudantes da ciência que é feita nos países da região. Por exemplo, um dos textos enfoca Mário Molina, destacando implicações científicas e econômicas de seu trabalho em química ambiental. O texto destaca a importância desse químico latinoamericano, com cuja origem os estudantes podem se identificar, ajudando a romper com o estereótipo do cientista “genial”, europeu ou estadunidense, afastado no tempo e no espaço. Nos textos biográficos, Garritz & Chamizo destacam características como criatividade, interdisciplinaridade e versatilidade dos diversos cientistas enfocados.

Dimensão 2 – Materiais utilizados para apresentar a informação histórica

Nesta dimensão, foram analisados os diferentes recursos a que os autores recorreram para inserir aspectos da história da ciência em seus textos. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.

Observa-se, tanto em Kotz & Treichel, como em Atkins & Jones, a pequena utilização de materiais para a apresentação de informações históricas, o que confirma a opção desses autores pela superficialidade das informações apresentadas. Os poucos materiais que aparecem se concentram nas categorias de imagens de cientistas e de equipamentos, no caso de Atkins & Jones; ou de textos produzidos pelos próprios autores, no caso de Kotz & Treichel. Os textos originais, escritos por cientistas do passado (fontes primárias) somam apenas três ocorrências, computando-se conjuntamente os dois livros. Destaca-se também a total ausência de outras fontes secundárias que não a produção dos próprios autores dos livros. Em outras palavras, não há citação de trabalhos produzidos por historiadores da ciência – o que se apresenta como característica dos três livros analisados.

Tabela 8. Materiais utilizados para apresentar a informação histórica

Categorias	Kotz & Treichel	Atkins & Jones	Garritz & Chamizo
Materiais utilizados para apresentar a informação histórica			
Imagens de cientistas	2	8	28
Imagens de equipamentos, máquinas, etc.	1	4	4
Textos originais (fontes primárias)	2	1	16
Fontes secundárias			
Textos de historiadores da ciência			
Modelos, representações, etc.			7
Ilustrações de equipamentos, experimentos, etc.			15
Textos pelo autor	6	2	42
Experimentos históricos			7
Outros			9

Dentre os materiais utilizados por Kotz & Treichel, foi observado que todas as imagens se concentram no capítulo dedicado a “Moléculas, íons e seus compostos”. Os textos escritos pelo autor aparecem nos capítulos sobre “Átomos e Elementos” e “Estrutura Atômica” – que, conforme apontamos há pouco, abrangem os assuntos nos quais mais se utiliza a abordagem histórica. Para todos os demais assuntos, portanto, nota-se ausência da utilização de materiais para apresentar o conteúdo histórico. Perfil semelhante se observa no livro de Atkins & Jones, no qual os assuntos privilegiados com a inserção de materiais históricos são aqueles relacionados ao desenvolvimento da teoria atômica, em capítulos intitulados “Elementos e Átomos” e “Átomos: o Mundo Quântico” – embora haja ocorrências esparsas (uma ou duas) nos capítulos “Fundamentos – Introdução”, “Mols e Massas Molares” e nos dois capítulos dedicados à Termodinâmica.

Em contraste, analisando a inserção de materiais para apresentar a história da ciência em Garritz & Chamizo, observou-se maior variedade de recursos neste livro, que inclui outros tipos de fontes secundárias além de textos. Nessa categoria, estão incluídos materiais produzidos pelos autores do livro didático ou por terceiros, tais como modelos, representações, ilustrações de equipamentos, esquemas de experimentos, etc., que tenham a função de esclarecer as ideias do passado, mas que tenham sido produzidas na atualidade. Observa-se também que os materiais utilizados por Garritz & Chamizo, em comparação com os dois outros livros, são não apenas mais variados, mas também mais abundantes, e bem distribuídos ao longo do livro. Entre os nove capítulos da obra, todos apresentam materiais históricos, sendo o mínimo (6 ocorrências) observado no capítulo sobre “Ácidos e Bases”, e o

maior número de ocorrências (34) encontra-se no capítulo sobre “Os Componentes dos Átomos”. A categoria mais frequente é a de “Textos pelo autor”, a qual revela aprofundamento do conteúdo histórico inserido. Também chama a atenção o uso de citações literais de textos de cientistas (“Fontes primárias”), o que é significativo do ponto de vista da nova historiografia da ciência.

Dimensão 3 – Contextos aos quais a informação histórica é relacionada

Algumas ocorrências relativas à história da ciência aparecem, nos textos, relacionadas a contextos mais amplos, conforme se procura mostrar na Tabela 9.

Tabela 9. Contexto da informação histórica

Categorias	Kotz & Treichel	Atkins & Jones	Garritz & Chamizo
Contextualização			
total de ocorrências contextualizadas	7	13	43
Contextos associados a essas ocorrências			
Científico	5	6	33
Tecnológico	2	9	22
Social	1	2	22
Político	2		13
Religioso			1

Em Kotz & Treichel, observa-se que o contexto mais trabalhado é o científico. Isso significa que a informação histórica acaba sendo relacionada apenas a outras ideias dentro da própria ciência. Em seguida, com o igual número de ocorrências entre si, se seguem os contextos tecnológico e político. Essa esfera de análise possibilita também que se reflita acerca do aprofundamento dado à informação histórica. A contextualização, além de pressupor maior reflexão sobre o conteúdo histórico, é uma característica que se dá, especialmente, em ocorrências que foram classificadas como tendo maior aprofundamento, como descrição, evolução real ou linear, etc. As contextualizações se concentram no capítulo 11 (compostos de carbono) – o qual, tomando-se como referência, é um daqueles em que a abordagem histórica é um pouco menos escassa. Observa-se, por outro lado, que nos capítulos onde se concentra o maior número de ocorrências (sobre “Átomos e Elementos”, e sobre “Estrutura Atômica”), apenas duas delas são contextualizadas. Aparentemente, a abordagem seguida na apresentação desses assuntos se fecha sobre si mesma, havendo poucas indicações de como esses assuntos se relacionam a outros temas da ciência, ou qual sua interação com a

sociedade. Vale esclarecer que, embora haja um total de 10 contextos aos quais ocorrências de história da ciência foram associados, o número absoluto de ocorrências é de apenas 7. Isto acontece porque uma mesma ocorrência pode ser associada a mais de um contexto.

Em Atkins & Jones, observa-se a concentração das ocorrências nos contextos científico e tecnológico, e a ausência de contextualização política ou religiosa. A maioria das ocorrências se dá no capítulo referente a “Átomos: o mundo quântico”, seguido pelos “Fundamentos” no início do livro. Observa-se contextualização para 13 ocorrências, que resultam em 17 contextos associados a elas no total.

Em Garritz & Chamizo, também para a dimensão de análise referente ao “Contexto”, observa-se maior número de ocorrências do que nos outros dois livros. Essas ocorrências encontram-se distribuídas ao longo das categorias (embora o contexto religioso quase não seja contemplado) e dos capítulos, de modo que nenhum capítulo fica isento de alguma referência histórica contextualizada. Essa distribuição indicia também maior aprofundamento da abordagem histórica do que nos outros livros analisados. Foram identificadas 43 ocorrências distintas em que havia referência a um ou mais contextos – em termos relativos, número significativamente maior do que nos outros dois livros, se considerarmos a relação entre esse número e o total de ocorrências mais aprofundadas.

Dimensão 4 – Estatuto do conteúdo histórico

A Tabela 10 permite observar qual o papel atribuído à informação histórica dentro do texto: se ela vem inserida no desenvolvimento didático dos conteúdos, ou se ela vem à parte, como curiosidade – em caixas separadas, por exemplo.

Tabela 10. Estatuto da informação histórica

Categorias	Kotz & Treichel	Atkins & Jones	Garritz & Chamizo
Estatuto da informação histórica			
Fundamental	81	72	210
Complementar	7	15	

Em Kotz & Treichel foi possível observar que, em 8 dos 14 capítulos, todo o conteúdo histórico foi inserido no texto, como fundamental para todos os alunos. Em apenas um capítulo o número de ocorrências classificadas como fundamentais (3) foi aproximadamente o mesmo daquelas classificadas como complementares (2): o capítulo sobre “Matéria e Medição”.

Em Atkins & Jones, pode-se observar maior número de ocorrências de conteúdos históricos em material considerado complementar, em comparação com o livro de Kotz & Treichel. No livro de Atkins & Jones, esses conteúdos aparecem, na maioria das vezes, em caixas separadas do texto, e se distribuem pelos vários capítulos em que há ocorrências de caráter histórico.

Em Garritz & Chamizo, vê-se que todas as ocorrências foram inseridas no livro como sendo fundamentais, destinadas a todos os alunos, em dissonância com os livros anteriores onde algumas ocorrências aparecem como sendo complementares, não integrando a parte principal do texto. Claramente, Garritz & Chamizo adotam a abordagem histórica como um dos eixos na elaboração do seu livro didático.

Dimensão 5 – Atividades de aprendizagem que abrangem a história da ciência

Tabela 11. Atividades de aprendizagem que abrangem a história da ciência

Categories	Kotz & Treichel	Atkins & Jones	Garritz & Chamizo
Estatuto da atividade			
Compulsória	1	4	4
Livre	1		7
Tipo de atividade			
Guia de leitura			1
Pesquisa bibliográfica			7
Análise de informação histórica		4	
Experimentos históricos			
Outros	2		3

Analisando as atividades de aprendizagem sugeridas para os alunos (como exercícios), envolvendo de alguma forma a história da ciência, encontramos apenas duas delas no livro de Kotz & Treichel. Cada uma dessas atividades traz um único dado quantitativo histórico para ser trabalhado pelos alunos:

39. Há mais ou menos dois séculos, Benjamin Franklin mostrou que 1 tsp [*colher de chá*] de óleo cobriria cerca de 0,5 acre de água parada. Sabendo que $1,0 \times 10^4 \text{ m}^2 = 2,47 \text{ acres}$ e que há aproximadamente 5 cm^3 em uma colher de chá, qual é a espessura da camada de óleo? Como essa espessura poderia ser relacionada ao tamanho das moléculas? (Kotz & Treichel, p. 33.)

O balão utilizado por Jacques Charles em seu voo histórico em 1783 foi preenchido com aproximadamente 1300 mol de H_2 . Se a temperatura do gás fosse $23\text{ }^\circ\text{C}$, e sua pressão, 750 mmHg, qual seria o volume do balão? (idem, p. 443.)

Observa-se que a relação com a história da ciência é extremamente tênue em ambos os casos: a origem dos dados é irrelevante para os objetivos das atividades.

Encontramos, em Atkins & Jones, quatro ocorrências desse tipo de atividades de ensino em todo o livro, sempre com as mesmas características: atividades destinadas a todos os alunos, envolvendo a análise de informações históricas, e inseridas em capítulos que tratam da teoria atômica. Embora sejam poucas, essas atividades são um pouco mais elaboradas que as propostas por Kotz & Treichel, conforme exemplifica o seguinte exercício:

Na época que J. J. Thomson conduziu seu experimento com os raios catódicos, a natureza do elétron era duvidosa. Alguns o consideravam uma forma de radiação; outros acreditavam que era uma partícula. Algumas das observações feitas sobre os raios catódicos foram usadas como suporte para uma ou outra visão. Mostre como cada uma das seguintes propriedades dos raios catódicos suporta o modelo de radiação ou o modelo de partícula do elétron. (a) Eles passam através de folhas metálicas. (b) Viajam a velocidades mais baixas do que a da luz. (c) Se um objeto for colocado em seu caminho, eles provocam uma sombra. (d) Seu caminho é defletido quando passam através de placas eletricamente carregadas (Atkins & Jones, p. 46).

Observa-se, aqui, a presença da ideia de que há debates em torno da interpretação dos experimentos, ou seja, esta ideia se opõe a um empirismo ingênuo de acordo com o qual os experimentos fornecem dados “isentos” sobre a Natureza. Além disso, também se opõe à concepção de que se estabelece consenso imediato no momento em que se anuncia uma nova “descoberta”. Entretanto, é discutível o impacto dessa ideia sobre os alunos, considerando a escassez de atividades desse tipo no livro como um todo.

Também nesta dimensão de análise o livro de Garritz & Chamizo mostrou maior número de ocorrências do que nos dois outros livros analisados. Garritz & Chamizo propõem 11 atividades, de três diferentes tipos. Os outros livros apresentavam menor número de atividades, e de somente um tipo. Observa-se que a maioria das atividades de aprendizagem em Garritz & Chamizo estão indicadas como complementares, enquanto no livro de Atkins & Jones todas as atividades eram colocadas como obrigatórias.

Dimensão 6 – Consistência interna do livro (no que se refere à informação histórica)

Analisando os livros capítulo a capítulo, pode-se obter uma visão panorâmica de quais assuntos são mais, e quais são menos, favorecidos quando os autores fazem referência à história da ciência. Observa-se que nos livros de Kotz & Treichel e de Atkins & Jones a distribuição das ocorrências em história da ciência é bastante desigual, estando concentrada em alguns capítulos. Em Garritz & Chamizo, a distribuição é mais homogênea.

Observa-se em Kotz & Treichel um grande número de ocorrências no capítulo que se refere a átomos e ao desenvolvimento da teoria atômica. Nesse capítulo, não apenas se tem um grande número de ocorrências, como também um maior número de ocorrências com mais aprofundamento. Seguindo o mesmo critério, o capítulo sobre estrutura atômica é o segundo em número de ocorrências com maior aprofundamento, e de ocorrências em geral. Pode-se observar também que a categoria “evolução real” (que sugere uma concepção historiográfica mais próxima das tendências atuais da área) se concentra praticamente nos capítulos relacionados à teoria atômica, assunto que parece ser privilegiado para uma abordagem do ponto de vista histórico. Em seguida, aparecem os capítulos sobre compostos de carbono e sobre o estudo dos gases como outros assuntos mais trabalhados neste livro sob a perspectiva histórica. Por outro lado, considerando os assuntos menos trabalhados sob essa perspectiva, vemos total ausência de abordagem histórica no capítulo referente a reações químicas em solução aquosa, bem como uma pequena e superficial abordagem nos capítulos sobre equações químicas e ligações químicas.

Na seção introdutória do livro de Atkins & Jones, vemos que o tópico com maior número de ocorrências em história da ciência foi aquele intitulado “Elementos e Átomos”; e entre os capítulos de 1 a 8 o tópico com mais ocorrências históricas foi “Átomos: o mundo quântico” – coincidindo, portanto, com os assuntos mais privilegiados com a abordagem histórica no livro de Kotz & Treichel. Por outro lado, o assunto com menor número de ocorrências de caráter histórico em Atkins & Jones foi “termodinâmica: a segunda e a terceira lei”. Na seção introdutória, entre os itens que não apresentaram ocorrências históricas observa-se a presença do que trata de reações em soluções aquosas, assunto que também não foi contemplado com nenhuma ocorrência de caráter histórico por Kotz & Treichel. Para o assunto “equações químicas”, não houve ocorrência em Atkins & Jones, e apenas uma em Kotz & Treichel. Um aspecto que nos chamou a atenção foi a coincidência na escolha da abordagem histórica para determinados assuntos em ambos os livros, e que pode ser observada também em outros livros didáticos de química geral. As razões para que

determinados tópicos sejam escolhidos para receber um enfoque histórico, e outros não, se apresentam como perspectiva para futuras investigações.

Um dos pontos que diferenciam a abordagem de Garritz & Chamizo em relação a outros livros de química geral é a presença de menções à história da ciência em todos os capítulos, em vez de apenas concentrada em poucos tópicos. Essas ocorrências integram o próprio desenvolvimento dos assuntos, mais do que em “caixas” isoladas do texto principal – como em livros que as sugerem como leituras complementares. Observa-se também a distribuição mais uniforme pelos capítulos de textos mais longos, revelando menor superficialidade na abordagem. Assim, a abordagem de Garritz & Chamizo se aproxima mais daquela que Matthews (1994) denominou “abordagem integrada”, na qual a história da ciência se apresenta como um dos fios condutores do conteúdo científico trabalhado no livro.

Dimensão 7 – Bibliografia em história da ciência

É de se destacar que o livro de Garritz & Chamizo apresentou uma dimensão de análise que está ausente dos outros dois livros, referente a bibliografia recomendada.

Tabela 12. Bibliografia recomendada

Categorias	Kotz & Treichel	Atkins & Jones	Garritz & Chamizo
Livros de história da ciência			12
Livros de ciência que abordam o desenvolvimento da ciência			14
Livros de áreas afins			1

Em virtude de haver repetições de indicações bibliográficas nos diferentes capítulos, optou-se aqui por apresentar, na Tabela 12, os dados colhidos no livro como um todo, ou seja, livros que são referenciados em mais de um capítulo foram computados uma única vez. Os livros eram recomendados no final das seções, como leitura complementar.

Dimensão 8 – Exatidão e precisão da informação histórica

Procurando fazer uma investigação qualitativa a respeito da concepção historiográfica dos autores do livro, fizemos uma releitura de ocorrências onde os conteúdos de história fossem mais aprofundados. Um dos critérios de avaliação que ajuda a identificar o aprofundamento destes conteúdos é o critério “texto pelo autor”, na tabela “Materiais utilizados”. A categoria “Textos pelo autor” identifica trechos onde o autor trabalhou os

conteúdos de história da ciência de forma mais aprofundada, sendo assim, este critério é bastante satisfatório para podermos visualizar o posicionamento dos autores quanto à evolução da ciência.

No livro de Kotz & Treichel, existem ao todo seis ocorrências de “Textos pelo autor”. Observou-se, nesses textos, uma tendência a apresentar a evolução da ciência de maneira linear e não problemática, selecionando apenas as ideias que ainda são aceitas pela ciência atual e excluindo as controvérsias. Assim, a ênfase recai sobre os “produtos” da ciência, e não sobre o processo que leva à construção do conhecimento científico. A narrativa não necessariamente reflete a sequência histórica dos acontecimentos, e em geral reforça um modelo empírico-indutivista para a ciência. Segue-se um exemplo:

Um objetivo dos cientistas do final do século XIX era explicar por que os átomos gasosos emitem luz de somente determinadas frequências e encontrar uma relação matemática entre as frequências observadas... Os primeiros passos nesse sentido foram dados por Johann Balmer (1825 – 1898) e, mais tarde, por Johannes Rydberg (1854 – 1919). Eles desenvolveram uma equação – chamada agora de **equação de Rydberg**... O físico dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1962) forneceu a primeira conexão entre os espectros dos átomos excitados e as ideias quânticas de Planck e Einstein. Do trabalho de Rutherford, sabia-se que os elétrons são arranjados no espaço exterior ao núcleo do átomo. Para Bohr, o modelo mais simples de um átomo de hidrogênio era aquele em que o elétron move-se em uma órbita circular ao redor do núcleo... (Kotz & Treichel, p. 234.)

O processo da ciência é apresentado como uma sequência não-problemática, no qual uma ideia conduz a outra, de maneira linear: estão ausentes as divergências, as interpretações alternativas, as controvérsias. Do processo histórico são pinçadas as ideias que, de alguma forma, podem ser consideradas partes dos conceitos atuais, idealizando a maneira como esses conceitos foram construídos.

Kotz & Treichel utilizam o relato referente à tabela periódica para idealizar o funcionamento da ciência. Vejamos alguns fragmentos:

A característica mais importante da tabela de Mendeleev – e marca de sua genialidade e de sua audácia – foi que ele deixava um espaço vazio em uma coluna quando um elemento não era ainda conhecido, mas deveria existir e ter as propriedades similares às do elemento que se situaria acima dele na tabela. Ele deduziu que esses espaços seriam preenchidos por elementos ainda não descobertos (Kotz & Treichel, p. 54).

Neste trecho, Kotz & Treichel ressaltam a “genialidade” e a “audácia” de Mendeleev, o que pode reforçar a ideia de que a ciência é feita por “gênios”, dificultando a identificação do estudante com a atividade científica. Tampouco há referência, no texto de onde foi extraído esse fragmento, aos anos de trabalho que Mendeleev dedicou aos estudos que o levaram à proposição da classificação periódica dos elementos.

Um problema com a tabela de Mendeleev era que os elementos estavam listados em ordem crescente de massa. Observando-se uma tabela moderna vê-se que, com base nisso, o Ni e o Co, entre outros, deveriam ser invertidos. Mendeleev supôs que as massas atômicas conhecidas naquela época eram inexatas, o que não era má suposição, baseando-se nos métodos analíticos então em uso. Na verdade, a sua ordem estava correta, e o que estava errada era a sua suposição de que as propriedades de um elemento eram uma função da sua massa.

Em 1913, H. G. J. Moseley (1887 – 1915)... corrigiu a suposição de Mendeleev (Kotz & Treichel, p. 54).

Observa-se que Kotz & Treichel adotam uma perspectiva presentista, apontando “problemas” e “correções” que somente são entendidos como tal do ponto de vista do conhecimento atual, e não do conhecimento existente na época retratada. Dessa forma, deixam passar a oportunidade de mostrar que as evidências experimentais não fornecem critérios absolutos: entre o que considerava uma boa hipótese (sua lei periódica) e os dados experimentais (as massas atômicas do Ni e do Co), Mendeleev preferiu acreditar que a hipótese estava correta e os experimentos, errados.

A Tabela Periódica e o Método Científico

O desenvolvimento da Tabela Periódica ilustra o modo pelo qual a química se desenvolveu: as observações experimentais conduziam a correlações empíricas das propriedades e daí à predição dos resultados a serem testados por experiências adicionais. Uma vez que as predições fossem testadas, uma teoria poderia então ser desenvolvida (Kotz & Treichel, p. 54).

Aqui, os autores idealizaram um processo de construção da ciência que ocorreria “fora do tempo”, pois não há qualquer referência às circunstâncias históricas que podem fazer com que o processo ocorra seguindo esse caminho ou não. No caso em questão, entre o teste das previsões de Mendeleev e o desenvolvimento de uma teoria que explica, ainda que não de maneira completa, a periodicidade das propriedades químicas, algumas décadas se passaram. Além disso, essa teoria existe em um panorama conceitual muito distinto daquele no qual Mendeleev trabalhava, incluindo novos conceitos de estrutura atômica, de elemento químico e de ligação química, por exemplo.

A abordagem de Atkins & Jones não é muito diferente. Seleccionamos a seguir três fragmentos, que servem para discutir alguns aspectos que consideramos relevantes a respeito da abordagem desses autores para a história da ciência. O primeiro trecho se refere aos modelos atômicos:

[O]s cientistas, no começo do século XX, sabiam que cada átomo devia conter um número suficiente de cargas positivas para cancelar a carga negativa. Mas, onde estava a carga positiva? Thomson sugeriu um modelo de átomo como uma bolha positivamente carregada, de material gelatinoso, com elétrons suspensos nela, como passas em um pudim. Entretanto, este modelo foi derrubado em 1908 por um experimento simples. Ernest Rutherford estava treinando alguns de seus estudantes para usarem peças novas do equipamento... Ele pediu a dois estudantes, Hans Geiger e Ernest Marsden, para atirarem partículas α contra um pedaço de folha de platina de somente uns poucos átomos de espessura. Se os átomos fossem de fato como bolhas de geleia carregadas positivamente, então as partículas α deveriam passar facilmente através da folha, com alguma ligeira deflexão ocasional de seus caminhos. O que Geiger e Marsden observaram perturbou a todos a sua volta... A explicação tinha que ser a que os átomos não têm bolhas de geleia positivamente carregadas com os elétrons suspensos como passas em um pudim. Ao invés disso, os resultados sugerem um modelo de átomo no qual há uma densa carga positiva central circundada por um grande volume de espaço vazio (Atkins & Jones, p. 47-48).

Nesse fragmento, podemos observar a presença do mito do “experimento crucial”: o “experimento simples” de Geiger e Marsden teria sido capaz de “derrubar” o modelo atômico de Thomson. Ao exporem o episódio histórico dessa maneira, Atkins & Jones reforçam duas visões equivocadas. Uma delas, a de que os experimentos fornecem um olhar isento sobre a Natureza, e assim bastaria uma evidência contrária para que uma teoria fosse abandonada. Sabe-se, porém, que a prática científica ocorre de maneira bastante diversa e, em geral, as teorias somente são abandonadas quando podem ser substituídas por outras consideradas mais satisfatórias. Além disso, é preciso lembrar que a própria observação é orientada por uma série de pré-concepções, podendo ser “ajustadas” a diferentes panoramas teóricos.¹¹ Outra visão equivocada sugerida pelo texto é a de que só havia o modelo de Thomson nessa época, e que ele teve que ser substituído pelo modelo de Rutherford. De fato, porém, havia diversos modelos atômicos em discussão no período (incluindo modelos “nucleares” anteriores ao de

¹¹ Dois textos úteis para discutir esse ponto em contextos didáticos são: “Os germes da discórdia: Louis Pasteur e as origens da vida”, *in* Collins e Pinch, 2003, pp. 115 – 129; e Martins, 2009, “Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada”.

Rutherford), e questões sobre a localização das cargas elétricas e a estabilidade do átomo não permitiam que fosse possível chegar a um consenso imediato sobre qualquer dos modelos (Lopes, 2009). Como curiosidade, podemos acrescentar que a analogia entre o modelo de Thomson e um “pudim de passas”, mencionada por Atkins & Jones e muitos outros livros didáticos, é totalmente inadequada, pois o modelo em questão não descrevia elétrons estáticos distribuídos aleatoriamente, mas movendo-se em anéis concêntricos dentro da esfera positiva (Lopes, 2009).

O trecho a seguir faz parte de um texto referente à elaboração da tabela periódica:

Frequentemente existem descobertas simultâneas em ciência, porque as descobertas tendem a ser feitas quando dados suficientes e de boa qualidade foram coletados (Atkins & Jones, p. 162).

A referência à coleta de “dados suficientes e de boa qualidade” pode sugerir aos alunos a ideia de que a ciência vai sendo construída pela acumulação de dados, de maneira linear.

O terceiro exemplo se refere aos estudos de Boyle com o ar:

Boyle pegou um tubo longo de vidro moldado em forma de J, com o lado menor lacrado. Ele então verteu mercúrio no tubo, prendendo ar no lado menor do J. Quanto mais mercúrio adicionava, mais o gás era comprimido. Boyle concluiu que o volume de uma quantidade fixa de gás diminui quando a pressão sobre ele aumenta... Porém, os cientistas procuram frequentemente colocar os dados experimentais em gráficos... Boyle encontrou que os dados dele deram uma linha reta quando os pôs em um gráfico da pressão contra $1/\text{volume}$ (Atkins & Jones, p. 267).

Neste trecho, observa-se que o esforço de Atkins & Jones em conformar a história a um certo modelo ideal para o desenvolvimento da ciência os conduz a um relato anacrônico. Embora, de fato, a ciência atual esteja repleta de representações gráficas como forma de sistematização de dados e teorias, essa característica estava longe de estar consolidada no século XVII, quando a ciência moderna estava apenas nascendo. Na obra em que descreveu seus estudos sobre o comportamento do ar, Boyle apresentou os resultados que obteve na forma de tabelas, e não de gráficos (Porto, 2010b).

Existem algumas semelhanças entre os três livros analisados, no sentido de que suas abordagens em geral estão mais próximos da antiga historiografia da ciência do que das tendências atuais dessa área. Também se observa coincidência quanto aos assuntos em que aparecem o maior número de ocorrências em história da ciência: aqueles que se referem à teoria atômica. Em Garritz & Chamizo, porém, a abordagem histórica se estende para um

número muito maior de conteúdos. Garritz & Chamizo utilizam a abordagem histórica também para contextualizar aplicações do conhecimento químico – por exemplo, ao focar a questão do desenvolvimento de drogas hoje ilícitas e antes comercializadas (como a cocaína, considerada em certo momento histórico como medicamento), e seus impactos negativos sobre a sociedade. A seguinte passagem é representativa:

Os fungos alucinógenos que crescem no sul do México foram empregados em cerimônias religiosas durante os últimos 2500 anos. O químico suíço A. Hoffmann, que sintetizou o LSD, descobriu em 1956 seu princípio ativo, a psilocina, de estrutura muito parecida com o neurotransmissor serotonina. O LSD (dietilamida do ácido lisérgico) é uma droga extremamente poderosa. Para surtir efeito bastam de 10 a 100 µg, ao passo que um comprimido de aspirina tem 300 000 µg de ácido acetilsalicílico (Garritz & Chamizo, p. 596).

Conforme foi mencionado na análise da Dimensão 1, as seções introdutórias de cada capítulo apresentam aspectos biográficos de cientistas latinoamericanos contemporâneos, e que alcançaram destaque internacional. Como dissemos, isso pode reforçar a identificação dos alunos com os cientistas – inclusive mulheres, que também são apresentadas como exemplos de sucesso em suas carreiras. Este é o caso, por exemplo, da química brasileira Eloísa Mano, sobre quem Garritz & Chamizo escrevem:

A produção científica de Eloísa Mano abrange ainda a orientação de 38 teses de mestrado e nove de doutorado. É autora de 10 livros e de três capítulos de livros, tem 188 trabalhos publicados em periódicos nacionais e internacionais... Apresentou centenas de conferências no país e no exterior e detém o registro de seis patentes.

Foi contemplada com o Prêmio Cidade do Rio de Janeiro de Ciência e Tecnologia (2000)... Recebeu a Grã-Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico, área de Química (2000). Foi distinguida com o prêmio 1997 International Award of the Society of Polymer Science, Japão, e com o prêmio da Engineering Properties and Structure Division/Central Florida Section of the Society of Plastics Engineers (SPE), EUA (2000). Foi também contemplada com a Medalha Simão Mathias em reconhecimento às contribuições para o desenvolvimento da química no país (Garritz & Chamizo, p. 306).

Os objetivos pretendidos pelos autores com esses textos são muito importantes. Pode-se especular, apenas, se, ao verem listados tantos méritos e prêmios dos cientistas, os alunos não se sintam diante de “gênios”, com os quais acabem não se identificando, ainda que

Categorias complementares

As categorias complementares que propusemos encontram-se tabuladas na sequência. Foram consideradas para análise apenas as ocorrências classificadas anteriormente como “Descrição”, “Períodos discretos”, “Evolução linear” e “Evolução real”.

Os resultados obtidos para as categorias complementares foram reunidos na Tabela 13.

Tabela 13. Categorias complementares

Categorias	Kotz & Treichel	Atkins & Jones	Garritz & Chamizo
Teoria versus prática			
apenas teoria	25	26	77
prática associada à teoria	4	5	30
Região			
Ocidente (Europa, EUA)	28	29	90
Extremo Oriente			4
Oriente Próximo (mesopotâmicos, árabes, persas,...)	1	1	3
América Latina			26
África			
Períodos			
Antiguidade/Medievo	1	3	11
sécs. XV/XVI			3
séc. XVII		4	6
séc. XVIII	4	1	14
séc. XIX	19	14	50
séc. XX	17	22	65
séc. XXI	1	2	

Observa-se, tanto em Kotz & Treichel quanto em Atkins & Jones, existir semelhança no que tange ao predomínio de ocorrências focadas apenas em aspectos teóricos, e número pequeno de ocorrências em que estes se encontram associados à prática. Em Garritz & Chamizo, embora também predomine a categoria em que o evento histórico está associado somente à teoria, em termos relativos a associação entre teoria e prática aparece de maneira bem mais pronunciada neste livro do que nos demais (30 de 107 ocorrências).

No que tange à localização geográfica, é preciso ressaltar que as categorias geográficas não são excludentes: uma mesma ocorrência pode se referir, por exemplo, ao Oriente Próximo e ao Ocidente. Observa-se em Kotz & Treichel e Atkins & Jones o absoluto predomínio da perspectiva centrada no Ocidente, enquanto essa prevalência é relativamente

menor em Garritz & Chamizo. Nesta dimensão de análise surge um dado interessante a respeito deste último livro: a grande quantidade de ocorrências relacionadas à América Latina, conforme já foi comentado na discussão de dimensões anteriores.

Também foi investigado o período histórico a que se referem as ocorrências em história da ciência em cada livro. Como era de se esperar, predominam as ocorrências referentes aos séculos XIX e XX – período em que a química consolidou seu ingresso na modernidade. Em Kotz & Treichel, o número de ocorrências para o século XX supera as do século XIX, enquanto que no livro de Atkins & Jones se observa haver mais ocorrências distribuídas por outros períodos (século XVII, Antiguidade), em comparação com Kotz & Treichel. Em Garritz & Chamizo, chama a atenção a existência de mais ocorrências relativas à Antiguidade e ao século XVIII do que nos dois livros anteriores.

Algumas considerações sobre a análise de livros didáticos

Não se pode desconsiderar que as informações a respeito da história da ciência, presentes nos livros didáticos para o ensino médio, podem influenciar as visões de ciência que serão construídas pelos alunos em seu processo de aprendizagem em ciências – dada a importância do livro didático como referência do saber escolar. Essa importância pode ser ilustrada pela análise feita por Echeverria *et alii* (2008), a respeito da formação de professores de química:

(...) a profissão docente é culturalmente desvalorizada, o que permite que profissionais de outras áreas, sem qualificação para o ensino, assumam a função pedagógica. O professor leigo não sabe por que ensina os conteúdos que ensina nem por que “é adotado” por esse ou aquele livro didático. Mais ainda, não tem condições de avaliar o livro didático que está usando. Por outro lado, mesmo aqueles professores que são formados em cursos específicos de formação de professores nem sempre fizeram, ao longo da formação inicial, um estudo sobre livros didáticos. Argumentamos que esses são alguns dos motivos que fazem do livro didático “o material didático” dos cursos de química do ensino médio (Echeverria *et alii*, 2008, p. 75).

Por exemplo: levando em consideração a vida e características dos personagens que fizeram a ciência, observamos que a maior parte dos relatos históricos contidos nos livros didáticos investigados estão relacionados a cientistas individuais. Tal abordagem não colabora para o desenvolvimento da concepção de que a ciência é, essencialmente, um empreendimento coletivo.

Levando em consideração os relatos contidos nos livros didáticos de nível médio a respeito das origens das ideias científicas, observamos que, na maioria dos casos, a ideia ou a descoberta é apenas citada. Essa maneira simplista de abordar a história da ciência tampouco contribui, de maneira satisfatória, para um entendimento de como a ciência se desenvolve. Outra característica que aponta para uma abordagem simplista é o predomínio da concepção de evolução linear da ciência. Como foi visto, são poucos os casos que descrevem divergências de pontos de vista, ou de metodologias, que estiveram em disputa em episódios da história da ciência.

As características observadas nos livros didáticos para o ensino médio não diferem muito do que foi observado para os livros mais largamente utilizados no ensino superior. Kotz & Treichel e Atkins & Jones recorrem à história mais como curiosidade e ilustração. Garritz & Chamizo, por outro lado, adotam a abordagem histórica como um dos eixos na organização do livro, discutindo episódios e ideias com maior profundidade. Portanto, a abordagem de Garritz & Chamizo é mais condizente com os ideais preconizados por educadores que recomendam a história da ciência como estratégia de ensino. A forma como este livro apresenta os conteúdos de história da ciência abre campo para outras reflexões. O livro de química geral de Garritz & Chamizo representa uma interessante proposta, ainda que alguns reparos de natureza historiográfica possam ser feitos. Os autores demonstram que a abordagem histórica não precisa se restringir a dados biográficos de cientistas e simples menções a ideias e descobertas. Relatos mais aprofundados podem auxiliar o estudante em diferentes aspectos de seu aprendizado: na construção de conceitos de química; na compreensão da complexidade da atividade científica ao longo do tempo; bem como no entendimento do fazer científico na atualidade.

As controvérsias desempenham papel muito importante nos processos de transformação da ciência, mas os autores dos livros didáticos mais utilizados, tanto no ensino médio como no superior, fazem escassas referências a elas. Para incorporá-las de maneira efetiva aos materiais didáticos, seria necessário superar a superficialidade na abordagem, recorrendo a estudos de caso mais aprofundados. Estes poderiam ser desenvolvidos pelos próprios autores dos livros didáticos ou, então, poderiam ser buscados em fontes secundárias em história da ciência que estejam atualizadas em termos historiográficos. Esse tipo de abordagem propiciaria não apenas a construção de ideias mais adequadas a respeito da natureza do conhecimento científico, ou mesmo a construção dos próprios conceitos científicos, mas também poderia auxiliar os estudantes a entenderem melhor como a ciência resulta do contexto social em que ela é produzida, e como influi sobre a sociedade. Não se

quer sugerir aqui que *todos* os conteúdos de química dos livros didáticos sejam apresentados sob a abordagem histórica, ou que se detalhem as vidas e obras de *todos* os pensadores do passado citados, o que seria evidentemente inviável. Acreditamos, como Allchin (2004) e Martins (2006), entre outros autores, que a abordagem de um único estudo de caso, de maneira aprofundada, é mais útil para a construção de uma imagem apropriada do empreendimento científico, do que dezenas de simples menções a nomes e datas. Ou seja, se os autores de livros didáticos pretendem incorporar a história da ciência em seus livros, não deveriam se preocupar em inserir grande quantidade de informações pontuais, mas em desenvolver estudos de casos adequados aos objetivos que se pretende alcançar com o ensino de ciências. Nesse sentido, os dados quantitativos fornecidos pelo instrumento desenvolvido por Leite (2002), e adaptado no presente estudo, não podem prescindir de uma criteriosa análise qualitativa, como a que procuramos aqui apresentar. Finalmente, considerando os resultados obtidos com os livros que foram objeto desta investigação, se o professor desejar desenvolver em seus alunos as habilidades relacionadas à reflexão sobre aspectos históricos e culturais do conhecimento científico, preconizadas nas diretrizes curriculares nacionais para o ensino de química, precisará buscar outros materiais, complementares ao livro didático.

A análise de livros didáticos é um terreno rico para investigações, sob diferentes vieses, e há muitas possibilidades para serem exploradas. Considerando nossos interesses de pesquisa, propomos agora uma mudança de perspectiva: se, neste capítulo, investigamos a presença da história da ciência nos livros didáticos da atualidade, no capítulo seguinte nosso olhar se volta para o livro didático em diferentes momentos históricos, ou seja, o livro didático como um indício das próprias transformações da ciência (e de seu ensino) ao longo do tempo.¹²

¹² O Capítulo 3 foi baseado em Vidal e Porto, 2012, Vidal e Porto, 2011, e Fernandes e Porto, 2012.

Capítulo 4 – Investigando livros didáticos de química em uso no Brasil ao longo do século XX: estudo das ilustrações e o caso do Instituto de Química da USP

Introdução

Contraopondo-se à ideia de uma ciência internacional, que paira acima das fronteiras nacionais, decorrente dos avanços nas técnicas de comunicação e transporte, a existência de diferenças regionais e nacionais no *estilo* de pensamento e trabalho científico já foi bastante defendida por alguns historiadores da ciência. Recorrendo ao significado proposto para *estilo* nas artes e literatura, esses historiadores concentram-se em padrões recorrentes de ação, desenvolvimento ideológico ou contexto social dos empreendimentos científicos (Harwood, 1987; Reingold, 1991; Nye, 1993; Fangerau & Müller, 2005). Afastando-se da ideia de *estereótipos*, um estilo nacional pode ser definido como características persistentes de uma nação ou cultura específica, que afetem suas ações frente ao conhecimento, desenvolvimento da pesquisa científica ou natureza organizacional e social dos cenários científicos (Reingold, 1991). Dentre os aspectos da construção do conhecimento científico que podem evidenciar a existência de estilos nacionais, Ash destacou a ênfase em determinadas disciplinas científicas, o foco em conteúdos específicos, as variações metodológicas e as diferenças institucionais (Ash, 1984 *apud* Fangerau & Müller, 2005). No caso específico da ciência química, o trabalho de Nye (1993), por exemplo, tratou de dicotomias existentes entre o desenvolvimento da química na França e na Inglaterra do século XIX e início do XX.

Considerando possível identificar diferentes formas de se pensar e praticar ciência, os livros, enquanto apresentadores do “consenso disciplinar” de uma área em determinado período, podem constituir importante ferramenta nesse empreendimento. Concordando com Hallewell (2005),

é difícil imaginar uma atividade que envolva tantos aspectos da vida nacional quanto a publicação de livros. O livro existe para dar expressão literária aos valores culturais e ideológicos. Seu aspecto gráfico é o encontro da estética com a tecnologia disponível. Sua produção requer a disponibilidade de certos produtos industriais (...) Sua venda constitui um processo comercial condicionado por fatores geográficos, econômicos, educacionais, sociais e políticos. E o todo proporciona uma excelente medida do grau de dependência ou independência do país, tanto do ponto de vista espiritual como do material (Hallewell, 2005, p. 42-43).

Se estendida a discussão especificamente para o caso dos livros didáticos, de ensino

básico ao superior, estes, sendo portadores de valores e comportamentos que se desejou serem ensinados (Corrêa, 2000), podem fornecer indicações importantes não apenas sobre tendências na construção e divulgação do conhecimento científico, mas também de tendências referentes à forma de ensino desses conhecimentos, tema de especial interesse aos pesquisadores da área de educação em ciências.

Neste capítulo, a questão dos livros didáticos será abordada sob dois pontos de vista. Na primeira parte, o objetivo é identificar, a partir da análise iconográfica e textual de livros didáticos destinados ao ensino universitário de química, especificamente no contexto da química geral, tendências para o ensino dessa disciplina durante o século XX, com especial atenção para as influências que se fizeram sentir no panorama brasileiro. A segunda parte visa posicionar os livros didáticos no desenvolvimento do curso de química oferecido pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP), uma das universidades pioneiras no ensino associado à pesquisa nessa disciplina no país. Para isso, foi adotada a abordagem da história oral, procedendo-se a entrevistas com professores de diferentes gerações do IQ-USP.

Parte I – Investigando as ilustrações de livros didáticos de química

Seleção e caracterização das obras analisadas

Considerando o grande número de obras publicadas, optou-se pela seleção das que apresentassem indícios de utilização no contexto universitário brasileiro do período. Segundo Choppin (2007), quatro critérios são fundamentais na avaliação da difusão de uma obra didática: sua vida editorial; o número de edições tiradas; a presença em bibliotecas; e a disponibilidade em sebos. Nesse contexto, foram considerados para análise os livros didáticos encontrados, simultaneamente, nas bibliotecas das diferentes unidades da Universidade de São Paulo e Universidade Federal do Rio de Janeiro (pioneiras na formação profissional superior em química no país) e em sebos existentes por todo o território brasileiro¹³, totalizando um conjunto de 31 obras.

¹³ A localização das obras deu-se através dos sistemas eletrônicos de acervo digital (*Dedalus* e *Minerva*, para a USP e UFRJ, respectivamente) e através do endereço eletrônico <<http://www.estantevirtual.com.br>>, o qual possibilita o acesso ao acervo de diferentes sebos brasileiros.

Tabela 14. Livros didáticos de química geral, utilizados no Brasil ao longo do século XX, analisados nesta pesquisa.

Ano de publicação	Obra	Publicação original
1901	TROOST, L. <i>Compendio de chimica</i> . Tradução da 29a. ed. Francesa. Rio de Janeiro: H. Garnier.	França
1904	TEIXEIRA, M. J. <i>Noções de chimica geral</i> . 6a. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves.	Brasil
1912	NERNST, W. <i>Traité de chimie générale</i> . v. 1 e 2. Tradução da 6a. ed. alemã. Paris: Librairie Scientifique.	Alemanha
1913	MACIEL, M. <i>Elementos de chimica geral</i> . 2a. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves.	Brasil
1917	McPHERSON, W.; HENDERSON, W.E. <i>An elementary study of chemistry</i> . 2nd.ed. Boston: The Atheneum Press.	EUA
1924	OSTWALD, W. <i>Compendio de química general</i> . Tradução da 6a. ed. alemã. Barcelona: Manuel Marín .	Alemanha
1927	BOLL, M. <i>Cours de chimie</i> . v. 1. Paris: Dunod.	França
1927	LAMIRAND, J. <i>Cours de chimie</i> . Paris: Masson et Cie.	França
1928	BAVINK, B <i>Introducción a la Química General</i> . 2a. ed. Barcelona: Labor.	Alemanha
1931	FRANCA, L. <i>Apontamentos de chimica geral</i> . 5a. ed. Rio de Janeiro: Pimenta de Mello.	Brasil
1932	PUIG, Pe. I. <i>Curso geral de chimica</i> . Tradução da 2a. ed. espanhola. Porto Alegre: Globo.	Espanha
1939	DEMING, H. G. <i>General chemistry: an elementary survey</i> . 4th. ed. New York: John Wiley & Sons.	EUA
1944	BABOR, J. A. <i>Química general moderna</i> . 2a. ed. Barcelona : Manuel Marin.	EUA
1944	BRINKLEY, S. R. <i>Principles of general chemistry</i> . 3th. ed. New York : The Macmillan Company.	EUA
1946	HOLMES, H. N. <i>Introductory college chemistry</i> . 4th. ed. New York: The Macmillan Company.	EUA
1950	PARTINGTON, J. R. <i>Química general e inorgânica</i> . Madrid: Dossat.	Inglaterra

Ano de publicação	Obra	Publicação original
1965	PAULING, L. Química geral. 2a. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico.	EUA
1965	HARDWICK, E. R. <i>Química</i> . São Paulo: Edgard Blucher.	EUA
1967	OHLWEILER, O. A. <i>Introdução à química geral</i> . 1a. ed. Porto Alegre : Globo.	Brasil
1968	SIENKO, M. J. Química. 2a. ed. São Paulo : Nacional.	EUA
1970	MAHAN, B. H. <i>Química: um curso universitário</i> . 1a. ed. São Paulo: Edgard Blucher.	EUA
1974	PIMENTEL, G. C.; SPRATLEY, R. D. <i>Química : um tratamento moderno</i> . 2v. 1a. ed. São Paulo : Edgard Blucher.	EUA
1974	SLABAUGH, W. H. PARSONS, T. D. <i>Química geral</i> . 1. ed. Rio de Janeiro : LTC.	EUA
1977	O'CONNOR, R. <i>Fundamentos de química</i> . 1a. ed. São Paulo : Harper & Row do Brasil.	EUA
1978	MASTERTON, W. L. <i>Química geral superior</i> . 4a. ed. Rio de Janeiro: Interamericana.	EUA
1979	QUAGLIANO, J. V.; VALLARINO, L. M. <i>Química</i> . 3a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara.	EUA
1981	RUSSELL, J. B. <i>Química geral</i> . 1a.ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.	EUA
1986	BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. <i>Química geral</i> . 2a. ed. Rio de Janeiro: LTC.	EUA
1998	KOTZ, J. C.; TREICHEL. Jr., P. M. <i>Química e reações químicas</i> . 2 v. 3a. ed. Rio de Janeiro: LTC.	EUA
1999	BROWN, T. L.; LeMAY, H. E.; BRUCE, E. <i>Química : ciência central</i> . 7a. ed. Rio de Janeiro: LTC.	EUA
2001 (c 1999)	ATKINS, P. W.; JONES, L. <i>Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente</i> . 1a. ed. Porto Alegre: Bookman.	EUA

Análise textual e iconográfica das obras

Foram considerados os aspectos (i) *iconográfico*, sendo analisadas e categorizadas

todas as ilustrações presentes nas obras, e (ii) *textual*, considerando os textos de apresentação das obras, por meio dos quais os autores evidenciam objetivos e estratégias adotadas. Foram analisados os prefácios de todos os livros didáticos e, em alguns casos, os prefácios de edições anteriores também foram examinados. Alguns livros publicados originalmente nos EUA apresentavam prefácios em inglês e português; estes últimos, em geral, foram escritos por professores de universidades brasileiras. Nesses casos, todas as versões dos prefácios foram levadas em consideração. Dada a contínua interrelação entre texto e imagem, a leitura de trechos específicos da obra também foi imprescindível para a compreensão do objetivo de cada ilustração analisada.

As imagens foram categorizadas, nesse primeiro momento, de forma independente do capítulo ou tema a que se referiam, visando unicamente uma análise exploratória. Não constituiu escopo desta investigação a análise de aspectos formais (como são apresentadas e dispostas no texto) e semânticos (significado que possuem para o leitor) das ilustrações ¹⁴. Sob essa perspectiva, nove categorias foram propostas: (i) Laboratório e experimentação; (ii) Indústria e meios produtivos; (iii) Gráficos e diagramas; (iv) Ilustrações relacionadas ao cotidiano; (v) Modelos; (vi) Ilustrações que remetem à História da Ciência; (vii) Fotos ou esquemas de amostras de origem animal, vegetal ou mineral; (viii) Analogias; (ix) Conceitos de Física. As figuras a seguir exemplificam as categorias.

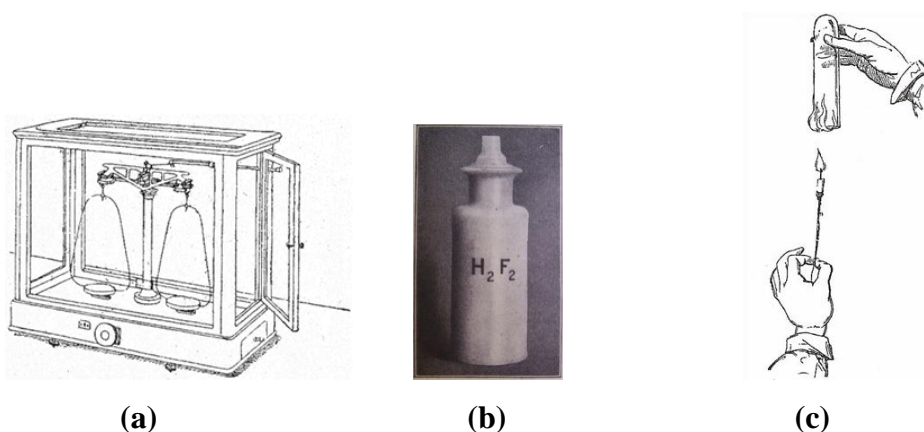
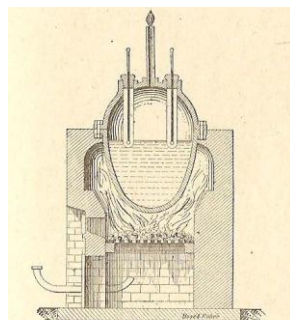


Figura 2. Exemplos para a categoria “Laboratório e experimentação”: (a) Balança de dois pratos (Ostwald, 1910); (b) Recipiente para armazenamento de ácido fluorídrico (McPherson, 1917); (c) Inflamação do hidrogênio em contato com o ar e uma vela acesa (Troost, 1901).

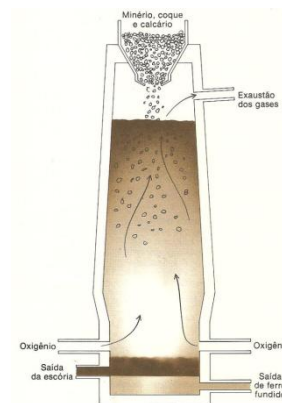
¹⁴ Sobre outras propostas de categorização de imagens em livros didáticos, vide Perales e Jiménez (2002) e Dimopoulos, Koulaidis e Sklaveniti (2003).



(a)

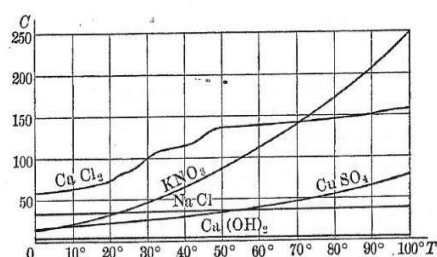


(b)

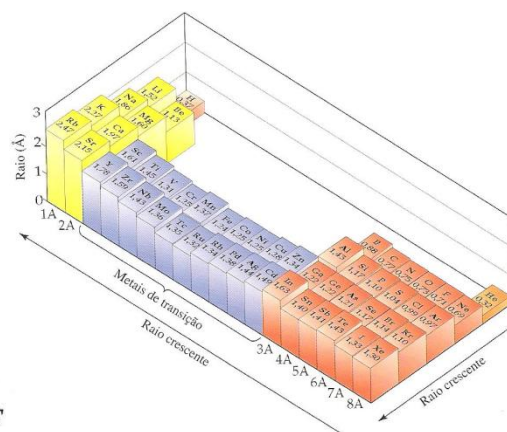


(c)

Figura 3. Exemplos para a categoria “Indústria e meios produtivos”: (a) Manufatura da porcelana (McPherson & Henderson, 1917); (b) Fabricação do fósforo vermelho (Boll, 1927); (c) Alto forno (Masterton, 1977).



(a)



(b)

Figura 4. Exemplos para a categoria “Gráficos e diagramas”: (a) Curva de solubilidade (Nernst, 1912); (b) Raios atômicos (Brown, 1999).

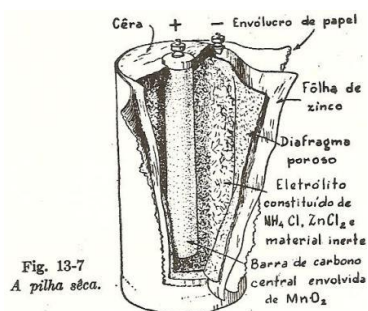
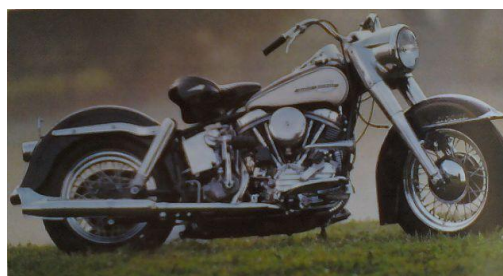


Fig. 13-7
A pilha seca.

(a)



(b)

Figura 5. Exemplos para a categoria “Cotidiano”: (a) Pilha seca (Pauling, 1972); (b) Motocicleta com peças metálicas cromadas (Atkins, 2001).

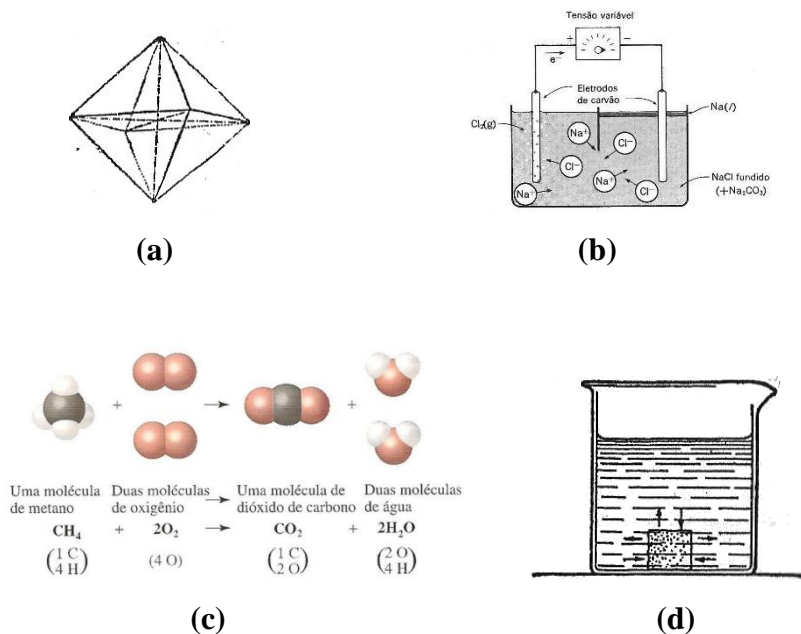


Figura 6. Exemplos para a categoria “Modelos”: (a) Octaedro (Troost, 1901); (b) Mecanismo da eletrólise (Sienko & Plane, 1968); (c) Combustão do metano (Brown, 1999); (d) Diagrama ilustrando o equilíbrio de uma solução saturada (McPherson, 1917).

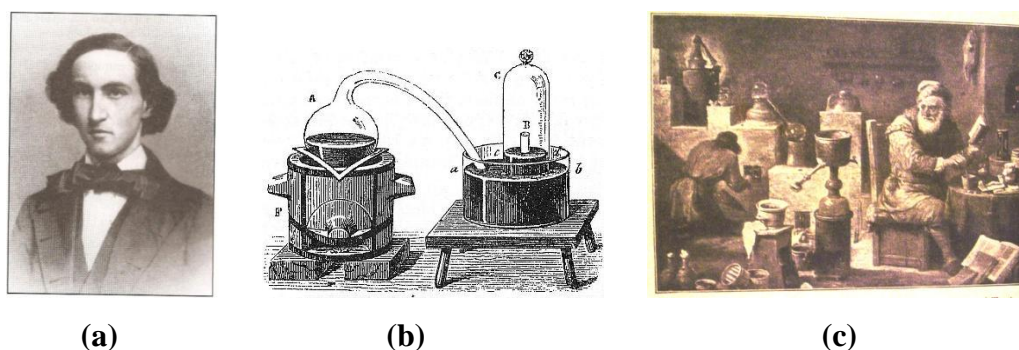


Figura 7. Exemplos para a categoria “História da ciência”: (a) J. W. Gibbs (Kotz, 1998); (b) Experimento de Lavoisier sobre a composição do ar (Troost, 1901); (c) Laboratório alquímico (McPherson & Henderson, 1917).

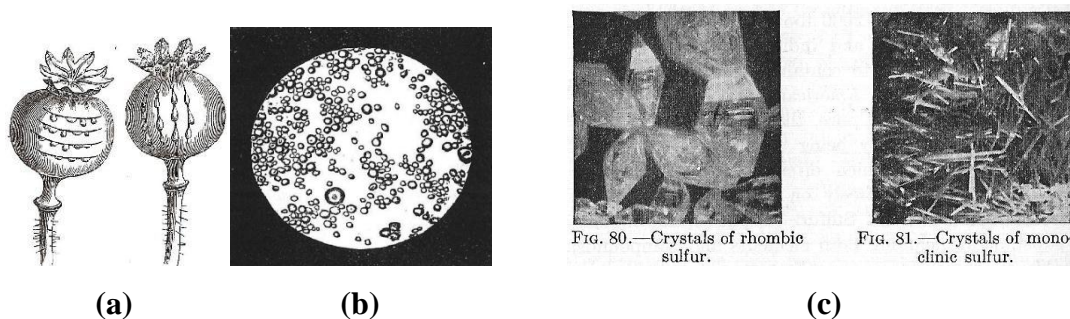
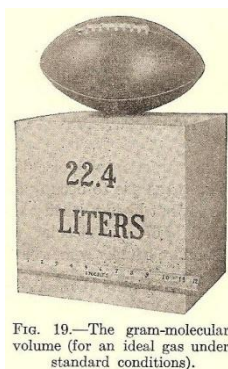
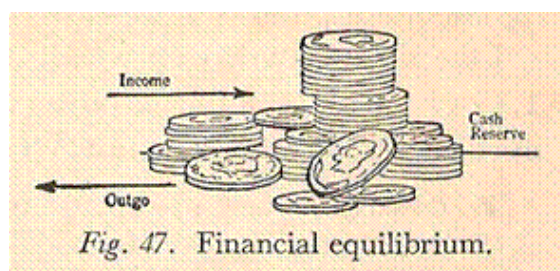


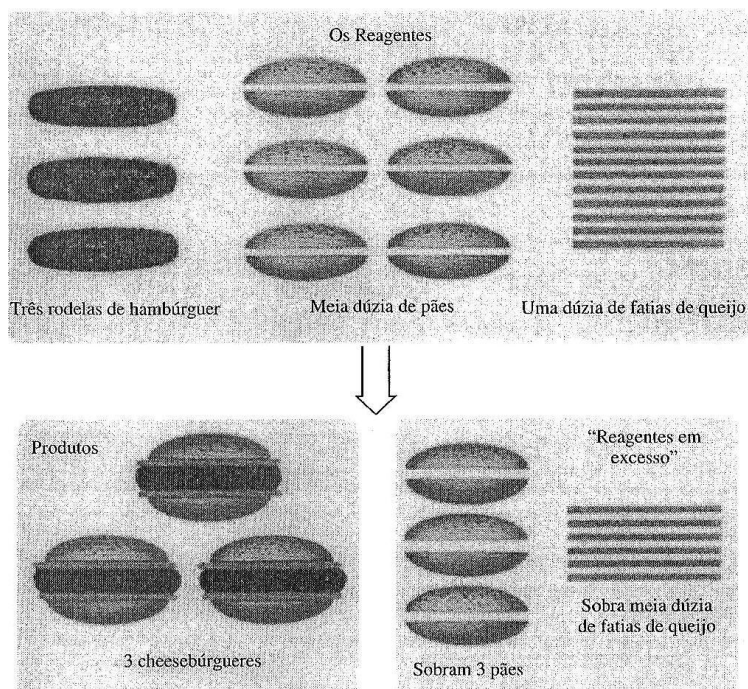
Figura 8. Exemplos para a categoria “Amostras de origem animal, vegetal e mineral”: (a) Suco opiáceo escorrendo de cápsulas de dormideira (Troost, 1901); (b) Gota de leite vista ao microscópio (Troost, 1901); (c) Cristais de enxofre rômbo e monoclinico (Deming, 1939).



(a)

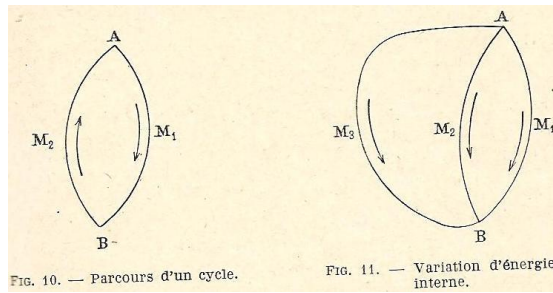


(b)

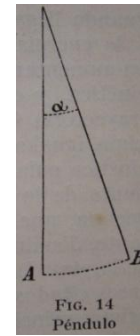


(c)

Figura 9. Exemplos para a categoria “Analogias”. (a) Volume molar (Deming, 1939); (b) Equilíbrio financeiro (Holmes, 1946); (c) Analogia para o tópico estequiometria, incluindo os conceitos de reagentes, produtos, reagente em excesso e reagente limitante (Kotz, 1998).

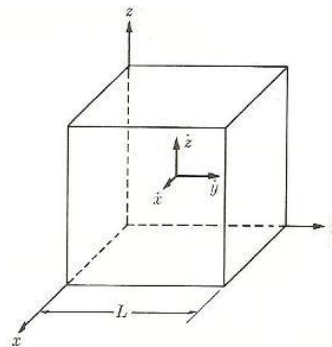


(a)

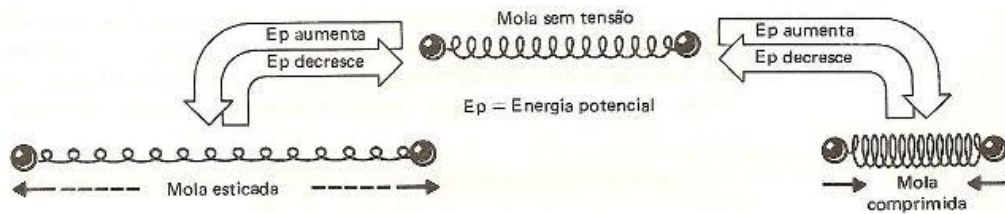


(b)

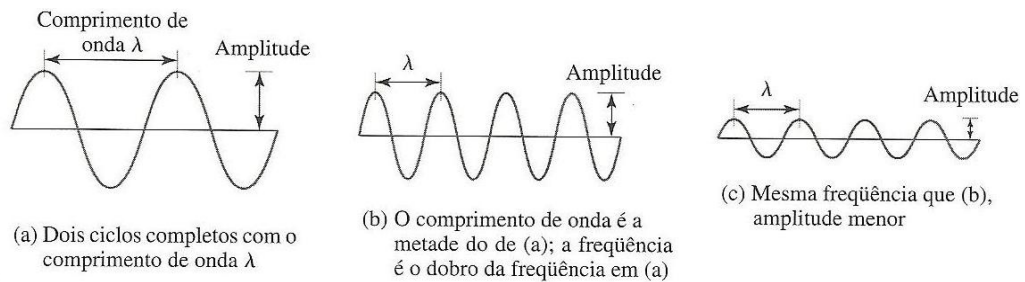
Fig. 2.6 Coordenadas e velocidades usadas na teoria cinética dos gases.



(c)



(d)



(e)

Figura 10. Exemplos para a categoria “Conceitos de Física”. (a) Rotas de um ciclo e variação de energia interna (Boll, 1927); (b) Pêndulo (Bavink, 1928); (c) Coordenadas e velocidades usadas na teoria cinética dos gases (Mahan, 1970); (d) Energia potencial existente entre objetos que se atraem ou repelem (Brady & James, 1986); (e) A energia radiante tem características ondulatórias (Brown, 1999).

Os dados obtidos, com as categorizações propostas, foram tabulados e representados em gráficos. A combinação das análises iconográfica e textual permitiu a identificação de diferentes tendências para o ensino de Química no Brasil, constituídas a partir de diferentes influências. As tendências identificadas foram contextualizadas, recorrendo aos prefácios dos livros, nos quais os autores apresentavam suas filosofias educacionais e as tendências curriculares que influenciaram a construção do texto. Artigos de periódicos, em particular do *Journal of Chemical Education*, relativos a currículos de química, também foram usados nesse processo de contextualização.

Tendências para a educação em química a partir dos livros didáticos

O período entre 1900 e 1939 foi marcado pela circulação de obras de diferentes nacionalidades no contexto brasileiro. Foram analisadas obras provenientes da França, Alemanha, Espanha, EUA e Brasil, o que teve como consequência a circulação de diferentes concepções de ensino de química em nosso país. Tal assertiva fica clara na comparação do caráter mais descritivo e experimental das obras francesas (caracterizadas pela predominância da categoria “Laboratório e experimentação”), mais aplicado e prático das obras estadunidenses (caracterizado pela ênfase nas categorias “Indústria e meios produtivos”) e mais matematizado e gráfico das obras alemãs (caracterizado pelo predomínio da categoria “Gráficos e diagramas”). Considerando que o início da produção de conhecimento químico no Brasil, de maneira organizada e contínua, tenha se dado de maneira tardia, as obras brasileiras analisadas certamente acabam por configurar apanhados de obras estrangeiras. Entretanto, tal compilação não se deu sem alterações significativas em relação às obras estrangeiras, impostas pela concepção, e pelo *estilo* de ensino predominante à época no país. Tais alterações já não se fizeram tão perceptíveis, por exemplo, na obra espanhola (Puig, 1932) que, apesar de apresentar algumas contribuições interessantes no que se refere a representações para a estrutura da matéria, deixa mais que evidentes as influências francesas, especificamente da obra de Troost (1901).

Sem entrar no mérito da qualidade das referidas obras, os livros brasileiros mostraram pouco (ou nada) em comum com as demais obras analisadas, no que se refere aos aspectos considerados na presente pesquisa. Tais obras caracterizaram-se essencialmente pela predominância textual, e pelo reduzido uso de ilustrações ou outros recursos que buscassem a facilitação do processo de aprendizagem. Pode-se especular se essa característica se devia a limitações técnicas, ou se a uma concepção de ensino definida.

A tradição escolástica medieval, que privilegiava o estudo dos clássicos e o trabalho

intelectual em detrimento do manual, mesmo que praticamente superada no restante na Europa, continuava a “assombrar” Portugal ainda em meados do século XVIII. Sendo a educação jesuítica predominante no Brasil até 1759, quando ocorre a expulsão da Companhia de Jesus, o primeiro processo de organização escolar no Brasil se dá com bases humanistas clássicas. Tratando do ensino jesuítico no Brasil, Ribeiro (1982) afirmou que:

O seu objetivo acima de tudo religioso, o seu conteúdo literário, a metodologia dos cursos inferiores (Humanidades), que culminava com o movimento denominado imitação, ou seja, a prática destinada a adquirir o estilo literário de autores clássicos, e a dos cursos superiores (Filosofia e Teologia), subordinada ao “escolasticismo”, faziam com que não só os religiosos de profissão como os intelectuais de forma geral se afastassem não apenas de outras orientações religiosas como também do espírito científico nascente (...) Isto porque a busca de um novo método de conhecimento, método este que caracteriza a ciência moderna, tem origem no reconhecimento das insuficiências do método escolástico medieval, adotado pelos jesuítas (Ribeiro, 1982, p. 31).

Ainda segundo essa autora, mesmo com a criação dos primeiros cursos superiores no Brasil entre 1808 e 1814, o estudo das diferentes áreas do conhecimento seguia, ainda, os mesmos padrões mais literários (retóricos) que científicos. Na realidade, o panorama da organização escolar brasileira (1549 a 1964), tecido pela autora, evidencia a permanência das dicotomias intelectual *vs.* prático, palavra *vs.* ação, por todo o período estudado (Ribeiro, 1982).

Apesar da considerável diversidade de origens das obras didáticas no período que compreende o final do século XIX e início do XX¹⁵, as décadas seguintes parecem assistir a redução da produção brasileira e a “invasão” não só dos materiais, mas da filosofia estadunidense de ensino. De fato, dentre as 20 obras consideradas representativas do período entre 1940 e 2001, apenas duas não tiveram sua origem nos EUA.

No início dos anos 1940, com a Segunda Grande Guerra, os EUA moveram consideráveis esforços no sentido de conquistar a simpatia da América Latina pelo *American way of life*. No Brasil dos finais da década de 1930 e início dos anos 1940, a faceta técnico-consumista dos EUA não atraía mais atenção que o modelo germânico, fascinante e aparentemente muito promissor, pelo menos até a primeira metade da década de 1940. Os principais artifícios envolvidos nessa conquista eram os meios de comunicação,

¹⁵ Nesse período, além dos já citados, o Brasil contava com outros autores de livros didáticos de química, utilizados no ensino básico e mesmo no superior, como Álvaro de Oliveira, Moraes e Valle, Domingos Freire e Pecegueiro do Amaral (Rheinboldt, 1955).

especialmente rádio e cinema, mas Quintaneiro (2002) ressalta que, frente a um ensino superior brasileiro dominado, principalmente, pela literatura francesa e alemã, etapa importante da difusão cultural seria “a distribuição a estudantes universitários de livros técnicos e de manuais, traduzidos para o português, nas áreas de medicina, engenharia, matemática, história, ciências físicas e sociais, entre outras” (Quintaneiro, 2002, p. 145).

Mas a entrada massiva de literatura estadunidense no Brasil, no que concerne ao escopo dessa pesquisa, deu-se a partir da década de 1960, cabendo aqui a discussão de outro fator. No final da década de 1950, a universidade brasileira sofria muitas críticas, com consequentes mobilizações tanto do Governo quanto da comunidade acadêmica, reivindicando a necessária reforma (Paula, 2009). Com a intenção de se valer de exemplos de planejamento e administração considerados bem sucedidos, o governo brasileiro solicitou ajuda da USAID (*United States Agency for International Development*). Como resultado desse processo, em 1965 e 1967 foram assinados os acordos MEC/USAID, que previam assistência na forma de seminários, cursos e consultorias, objetivando o desenvolvimento dos diferentes níveis de ensino no Brasil. Entre os pontos do convênio, constava o aumento da distribuição gratuita de livros didáticos às escolas de nível básico, e a facilitação do acesso de estudantes de nível superior aos livros técnicos. Para garantir tal proposta, criou-se, em outubro de 1966, a Comissão do Livro Técnico e do Livro Didático (COLTED), sendo prevista a distribuição de 51 milhões de livros até 1969 (Alves, 1968).

Além das mudanças nas influências culturais, também merece destaque a alteração na distribuição das ilustrações analisadas entre as categorias propostas. O primeiro período mencionado (1900-1950) foi responsável por um total de 2280 ilustrações, número que aumentou para 5021 no segundo período, totalizando 7301 ilustrações analisadas. É interessante notar, no entanto, o deslocamento nas prioridades de representação, especialmente do prático e do aplicado para o teórico, com sensível diminuição no número de representações associadas ao laboratório, à experimentação e à indústria, com correspondente aumento de representações do tipo modelos e gráficos cartesianos. Tal deslocamento parece ter ocorrido na transição da década de 1940 para 1950, estendendo-se pelos anos 60 do século XX, conforme demonstram as Figuras 11 e 12.

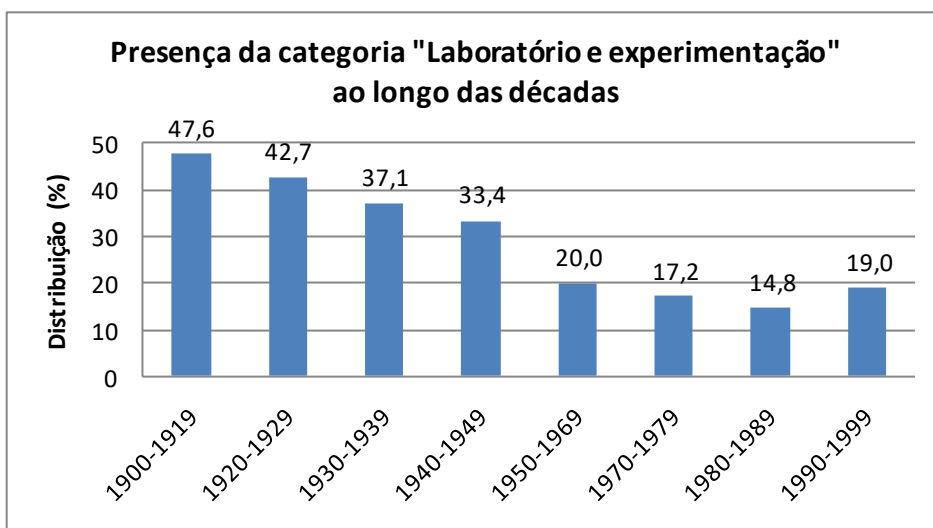


Figura 11. Ocorrências para a categoria “Laboratório e experimentação” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

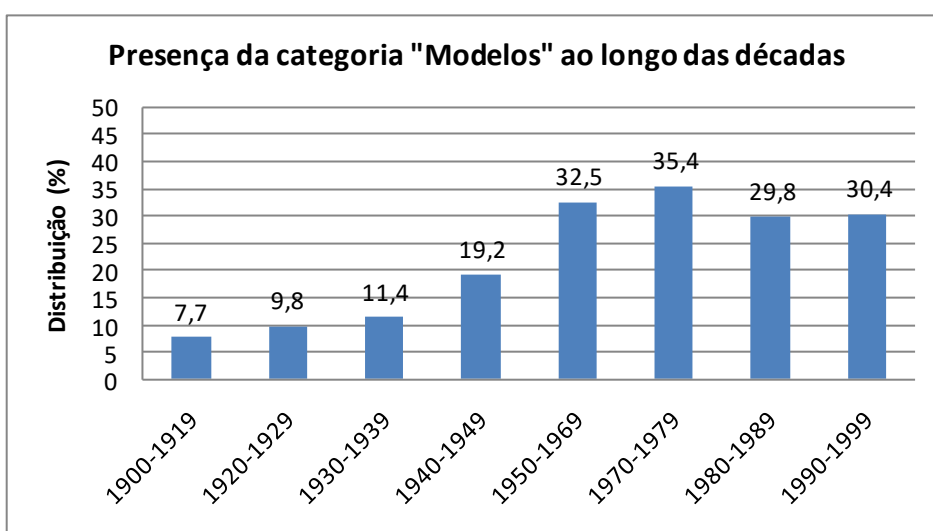


Figura 12. Ocorrências para a categoria “Modelos” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

De fato, durante o *Symposium on the contents of the basic courses in chemistry*, realizado em 1951 em Nova York, como parte integrante do 120º Encontro da *American Chemical Society* (ACS), Tamres e Bailard, Jr. (1952) defenderam veementemente, num texto de tom bastante prescritivo, a importância dos *princípios* no ensino de Química, em detrimento da superficialidade dos *fatos*:

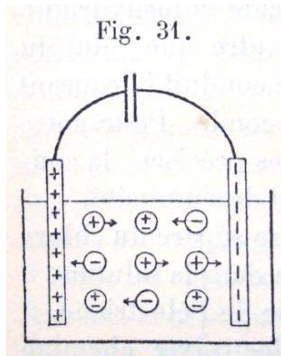
O enfoque nos princípios se faz necessário porque os fatos da química – propriedades e usos de substâncias químicas – se acumularam tão rapidamente que ninguém pode esperar lembrar deles, a não ser que eles sejam reduzidos a seus princípios subjacentes. E mesmo que eles fossem lembrados, pouco significariam

aos estudantes e não seriam usados para prever outras propriedades (Tamres & Bailard, Jr., 1952, p. 218).

Sob essa perspectiva, os conteúdos de química descritiva assumem caráter cada vez mais ilustrativo, cuja importância seria a exemplificação do verdadeiro *corpus* do conhecimento químico, os conceitos e princípios.

A maior ênfase nos princípios, e em sua aplicação à explicação e previsão das propriedades das substâncias e ocorrência de fenômenos químicos, assumiu, ainda, outra dimensão no que se refere às estratégias de representação, além da multiplicação dos modelos: a associação destes com diferentes categorias, como demonstra a Figura 13. Dentre as obras analisadas, a primeira observação de associação de diferentes níveis de representação como estratégia de apresentação do conteúdo foi observada na obra de Nernst, publicada em 1912. Tal estratégia mostrou-se timidamente presente até o final da década de 1930, quando passou a ser utilizada com maior frequência, conforme demonstra a Figura 14.

Dois outros fatores parecem ter assumido especial importância na atribuição de um caráter cada vez mais “acessório” à química descritiva pelos autores estadunidenses: os objetivos assumidos pelos EUA para a educação em ciências no período de guerra e pós-guerra, e o rápido desenvolvimento do conhecimento químico, que “colocou em xeque o tempo disponível para a química descritiva num curso introdutório” (Sienko & Plane, 1961).



(a)

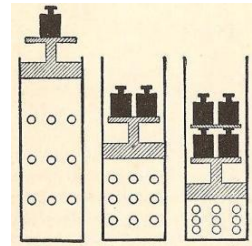


Fig. 20. The volume occupied by a given number of molecules of a gas varies inversely as the pressure.

(b)

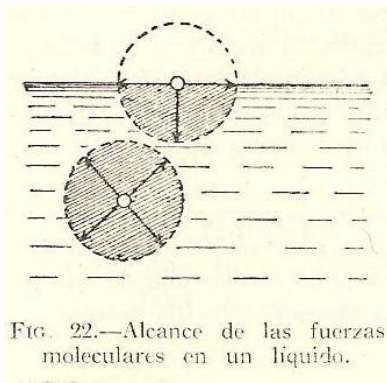


FIG. 22.—Alcance de las fuerzas moleculares en un líquido.

(c)

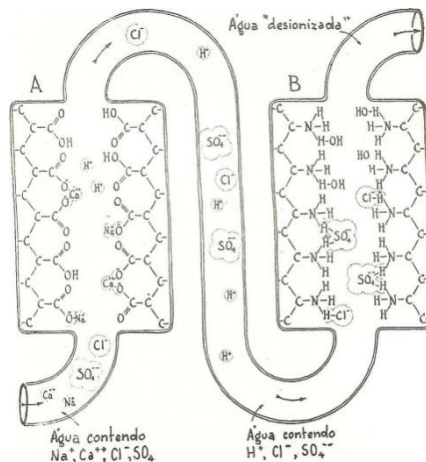


Fig. 15-1 Remoção de íons da água por meio de moléculas gigantes que contêm grupos ácidos e básicos.

(d)

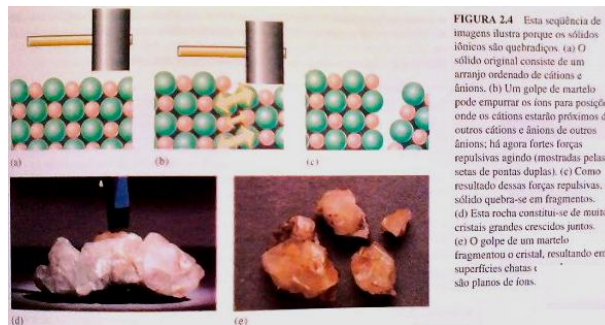


FIGURA 2.4 Esta sequência de imagens ilustra porque os sólidos iônicos são quebradiços. (a) O sólido original consiste de um arranjo ordenado de cátions e ânions. (b) Um golpe de martelo pode empurrar os íons para posições onde os cátions estarão próximos de outros cátions e ânions de outros ânions; há agora fortes forças repulsivas agindo (mostradas pelas setas de pontas duplas). (c) Como resultado dessas forças repulsivas, o sólido quebra-se em fragmentos. (d) Esta rocha constitui-se de muitos cristais grandes crescidos juntos. (e) O golpe de um martelo fragmentou o cristal, resultando em superfícies chatas: são planos de íons.

(e)

Figura 13. Exemplos de ilustrações que se utilizam da associação entre os níveis fenomenológico e teórico-conceitual de representação dos fenômenos. (a) Mecanismo da condução eletrolítica (Nernst, 1912); (b) O volume ocupado por um dado número de moléculas varia inversamente com a pressão (Holmes, 1946); (c) Alcance das forças moleculares em um líquido (Partington, 1950); (d) Remoção de íons da água por meio de moléculas gigantes que contêm grupos ácidos e básicos (Pauling, 1972); (e) Esta sequência de imagens ilustra porque os sólidos iônicos são quebradiços - Associação entre as categorias “Amostras de origem animal, vegetal ou mineral” e “Modelos” (Atkins, 2001).

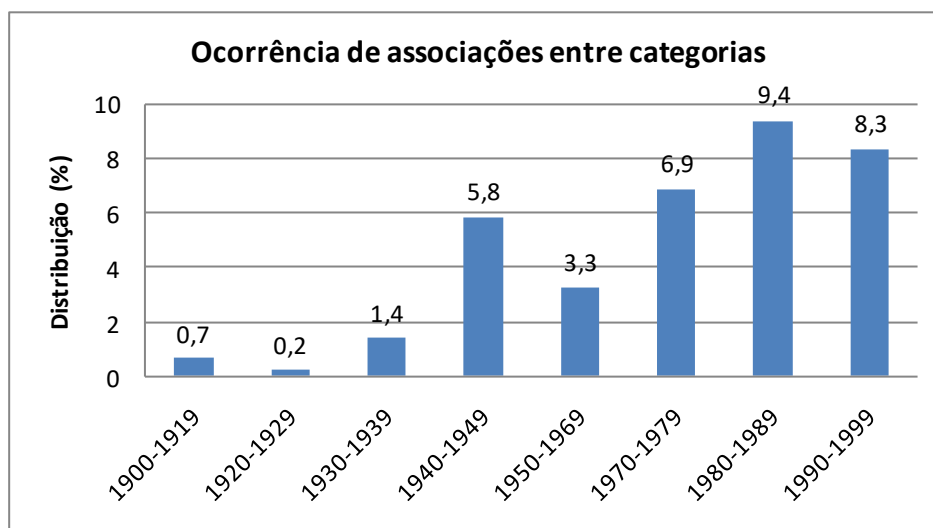


Figura 14. Ocorrência de associação entre as categorias ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

Em relação ao primeiro fator mencionado, uma análise das publicações do *Journal of Chemical Education*, importante e mais antigo periódico relacionado à educação em química dos EUA, revela uma série de artigos que evidenciam a forte influência que a indústria exercia sobre os currículos dos cursos superiores de química. Tal relacionamento mostrou-se estreito desde a década de 1920 (o primeiro número desse periódico foi publicado em 1924), período no qual vários artigos procuravam ressaltar o importante papel da química na indústria; mas parece ter sido intensificado no final da década de 1930 e início dos anos 1940, sendo significativamente fortalecido no período pós-Segunda Guerra. Nesse período, foram várias as comunicações que discutiam as expectativas e necessidades da indústria, e que propunham melhor adequação dos currículos em química aos seus interesses (White, 1931; du Pont, 1937; Willard, 1937; Robertson, 1940; Moore, 1941; Hauser, 1943; Rinenart, 1947; Quill, 1947; Murphy, 1947).

As novas competências e habilidades a serem desenvolvidas foram apresentadas por White (1931) no artigo “Chemical industry and the curriculum”:

Há 30 anos, a habilidade de proceder análises era a finalidade mais importante. Hoje, a maioria das análises de rotina é feita por analistas inexperientes (...) O laboratório industrial já não é mais uma meta. As áreas valorizadas são a pesquisa, desenvolvimento e operação. Todas elas requerem a habilidade de aplicar leis gerais a novas condições. Matemática e física devem ser enfatizadas e trabalhadas com especial atenção na formulação de problemas. O trabalho de laboratório deve ser restrito, e os princípios e problemas enfatizados (White, 1931, p. 2016).

A formação de químicos cada vez mais conscientes de seu trabalho, no sentido de

mais criadores e menos reprodutores, fez-se ainda mais necessária no período pós-guerra, quando o sucesso dos projetos da química, além de promovê-la enquanto ciência, abria várias oportunidades de emprego para um futuro próximo nas indústrias (Quill, 1947). Esses novos postos deveriam ser assumidos por pessoal qualificado a promover o progresso do país (Hauser, 1943). Quill (1947) evidenciou sua preocupação com a formação dos novos químicos:

O sucesso de muitos projetos da química no esforço de guerra serviu para tornar a química glamorosa. Jovens estão se inscrevendo para nossa profissão, pois se acredita que haverá grande necessidade de químicos nos próximos anos. Contudo, a maioria dessas pessoas não está qualificada a se formarem químicos – são mais adequados para treinamento como laboratoristas ou técnicos (Quill, 1947, p. 369).

Conforme mencionado, o avanço sem precedentes do conhecimento químico também foi responsável pela redução do conteúdo descritivo nos cursos introdutórios de química. O mesmo vale para a aproximação cada vez maior com os conceitos da física. Em análise de 25 livros didáticos utilizados nos *Colleges* estadunidenses no período de 1913 a 1937, Dunbar (1940) observou aumento significativo, ao longo dos anos, na ênfase em temas como colóides, ionização, radioatividade e estrutura atômica e molecular. Observação semelhante também foi feita por Nicholson (1956), ao proceder a análise de livros didáticos publicados entre 1946 e 1955. Segundo o autor, a diminuição da distância entre a física e a química foi responsável por mudanças do conteúdo e do estilo da maioria dos textos didáticos, os quais teriam adotado o que denominou de “*physical approach*”. Tais resultados corroboram e justificam a maior presença de ilustrações classificadas como “Conceitos de física” em nossa análise. Cabe destacar, porém, que esse aumento deu-se de forma muito mais pronunciada entre os anos 1950 e 1960.

A nova tendência de ênfase nos princípios e nos conteúdos matemáticos e físicos não foi unanimemente bem recebida, sendo que alguns autores atribuíam a ela o reduzido número de estudantes interessados em aprofundar seus conhecimentos em química, em contraposição ao *boom* esperado na carreira para o período do pós-guerra. Nicholson (1956), defensor do conteúdo de química descritiva como componente “vital” de um curso introdutório de química, sugeria que o “*physical approach*” poderia ser uma causa parcial do pouco interesse dos ingressantes nos *Colleges* que, assustados, não optariam por aprofundar seus estudos em química. Seguindo a mesma direção, Rakestraw (1958) também propunha que a crítica escassez de pessoal na área das ciências e das técnicas seria reflexo da evidente ineficiência da educação em ciências em todos os níveis, mas especialmente no secundário.

Frente à necessidade não só de mais cientistas e mais engenheiros, mas dos melhores profissionais nessas áreas (Rakestraw, 1958), novas alternativas curriculares começam a ser pensadas, a começar pelo questionamento da divisão clássica e estanque da química em geral, orgânica, inorgânica e analítica, e da quase exclusividade do ensino de princípios. Assim, durante as atividades do *Symposium on new ideas in the four-year chemistry curriculum*, no 132º Encontro da ACS ocorrido em Nova York em 1957, Strong e Benfey (1958) afirmaram que:

O currículo de química enfrenta um impasse. Houve um grande movimento contrário ao ensino das miríades de fatos isolados, o qual se mostrou na transformação do curso de primeiro ano em um curso de estudo dos princípios químicos (...) Não há mais espaço para mais princípios, e nem podem eles ser unificados e simplificados sem a ajuda da termodinâmica ou da teoria quântica. Para isso, porém, os calouros não estão preparados. Além disso, o deslocamento da aprendizagem do conteúdo descritivo e das habilidades nos últimos anos significou a quase impossibilidade de encontrar espaço nos cursos mais avançados para uma discussão mais detalhada e madura dos conceitos químicos. Apenas aqueles que sobreviveram a um ano de abstrações e dois anos de treinamento de habilidades e assimilação de dados factuais terão o privilégio de ganhar, ao final do curso, uma visão equilibrada dos métodos e objetivos da química (Strong & Benfey, 1958, p. 164).

Além do maior uso de representações referentes à categoria modelos, as obras publicadas no início da década de 1950 e ao longo dos anos 1960, tiveram redução significativa no número de ilustrações referentes à categoria “Indústria e meios produtivos” e à categoria “Cotidiano”. Sobre tal tendência, observada especialmente na década de 1960, Gómez-Ibáñez (1972) afirmou, durante o *Simpósio Internacional de Educação em Química*, ocorrido em São Paulo, em 1971:

Sinto que o conteúdo dos cursos básicos tende a oscilar entre dois extremos: um é primariamente descritivo e o outro se inclina fortemente para os princípios. Contrariando a série de fatos, dispositivos e detalhamentos de processos industriais que apresentava o livro de trinta anos atrás, o início dos anos 1960 assistiu a promoção de novos cursos introdutórios nas ciências refletir uma abordagem mais moderna do ensino de química. Alguns desses livros sofreram duras críticas, sendo classificados como “dogmáticos” (Gómez-Ibáñez, 1972, p. 363).

Na sequência de sua fala, Gómez-Ibáñez citou, ainda, Ronnenberg, que, em 1970, constatava que “[de maneira geral] esses cursos, e outras tentativas curriculares de melhorar

os cursos elementares de ciências, na realidade alienaram muitos estudantes em relação às ciências” (Ronnenberg, 1970, *apud* Gómez-Ibáñez, 1972).

A idéia de ênfase quase exclusiva nos princípios, apesar de duramente questionada desde meados da década de 1960, continuou circulando no Brasil por intermédio dos textos de apresentação das obras, geralmente escritos num período anterior à real publicação da obra no país. Seguem exemplos de trechos de *Química Geral*, de Linus Pauling. A obra analisada foi publicada no Brasil em 1972, como a quarta reimpressão (1966, 1967, 1969, 1972) da tradução da segunda edição publicada em 1965 nos Estados Unidos (a primeira edição foi publicada em 1947, sob o título de *General Chemistry*). Na versão em português, são apresentados os prefácios da primeira e segunda edições:

Química é um assunto extenso, que continua a crescer à medida que se descobrem ou preparam novos elementos, se sintetizam novos compostos ou se formulam novos princípios (...) No passado, um curso de química geral tendia a ser uma colcha de retalhos de química descritiva e certos tópicos teóricos. O progresso feito nas últimas dezenas de anos foi tão grande que a apresentação da química geral aos alunos da geração presente pode ser feita de maneira mais simples, direta e lógica que anteriormente (...) Fatos de química descritiva são apresentados em quantidade limitada, suficiente para fornecer ao aluno uma introdução à variedade de substâncias químicas e à sua interessante diversidade de propriedades, mas insuficiente para confundir-lo ou soterrá-lo sob uma avalanche de fatos (Pauling, 1972, p. XI - Prefácio da primeira edição, 11/04/1947).

A introdução de princípios gerais novos, devidos ao desenvolvimento da química teórica, tornou possível omitir parte da matéria anteriormente incluída num curso introdutório. Em particular, pode-se gastar uma fração menor de tempo no aprendizado dos fatos da química descritiva, porque muitos desses fatos foram correlacionados e sistematizados por novos princípios (Pauling, 1972, p. VIII - Prefácio da segunda edição, 28/02/1953).

É interessante notar como o discurso aplicado aos currículos dos *Colleges* estadunidenses foi incorporado no contexto brasileiro. A obra de Slabaugh e Parsons, *General Chemistry*, publicada em 1971, traduzida e impressa no Brasil em 1974 e reimpressa em 1977, continha, originalmente, dois capítulos destinados à química descritiva, os quais foram retirados da edição em português. Tal influência fica também evidente no prefácio de 1967, mantido na edição de 1971, da obra de Ohlweiler, único autor brasileiro a ter um livro didático analisado por essa pesquisa no período posterior a 1950:

[O] estudo desse importante setor da Química [*i.e.*, a Química Inorgânica], em sua forma clássica, isto é, em termos meramente descritivos, tornou-se difícil e, ainda mais, impraticável. Felizmente, a teoria avançou paralelamente com a observação experimental. Os dados acumulados foram submetidos a um processo de sistematização, que criou as condições para o tratamento dos problemas não mais de um ponto de vista fenomenológico, mas a partir de um conjunto coerente de princípios e teorias gerais assentadas nas propriedades atômicas e moleculares fundamentais (Ohlweiler, 1971, p.viii).

É verdade que alguns autores já vinham identificando problemas na nova estratégia curricular, como evidencia o prefácio à segunda edição da obra de Sienko e Plane, escrito em 1961, e apresentado na versão em português publicada em 1968:

A importância dada ao estudo das ciências físicas, particularmente nos anos do estudo médio, em vez de diminuir, complicou consideravelmente os problemas encontrados nos primeiros anos do curso universitário de química. O mais sério desses problemas talvez seja a grande diversificação encontrada na compreensão dos conceitos pelos estudantes. Assim, entre os estudantes mais diferenciados, essa compreensão parece ter melhorado, mas piorado entre os mais fracos (...) O maior conhecimento provavelmente provém de um contato mais amplo com as aplicações da ciência moderna; a menor compreensão, da aceitação universal de superficialidade às custas da profundidade intelectual. Qualquer que seja a explicação, o fato é que a maioria dos estudantes prefere memorizar a pensar (Sienko & Plane, 1968, prefácio à segunda edição).

A leitura dos textos introdutórios também evidencia que o referido insucesso cada vez mais passou a ser agravado pela mudança do público ingressante nos cursos superiores. A “grande diversificação encontrada na compreensão dos conceitos pelos estudantes”, alertada por Sienko e Plane, certamente estava relacionada à grande heterogeneidade dos ingressantes nos cursos superiores, em razão da massificação do ensino nos Estados Unidos no período entre 1950 e 1985, quando se observou aumento de cinco vezes no número de estudantes. Essa heterogeneidade não se referia apenas à bagagem, mas também a diversidades de interesse e habilidades, o que fica claro nos trechos que seguem:

Fomos também influenciados pela mudança de composição do corpo estudantil em química geral. Muito poucos dentre os nossos estudantes têm química como matéria principal – a maior parte está preparando-se para carreiras nas áreas de engenharia, ciências biológicas, medicina e profissões correlatas. Eles não estão interessados em teoria abstrata; por outro lado, querem saber como os princípios de química podem ser aplicados às suas áreas de interesse e, de um modo mais geral,

ao mundo à sua volta (Masterton, 1978, p.vii).

Entre os estudantes que recebem química geral introdutória, hoje em dia, as perspectivas vocacionais, a bagagem educacional e as motivações parecem ser mais amplas do que antigamente (Russel, 1981).

O Brasil também foi palco da massificação no ensino universitário na virada da década de 1960 para 1970, com aumento das vagas e decorrentes dificuldades, apresentadas pelos editores brasileiros no prefácio à edição em português da obra de O'Connor, publicada no Brasil em 1977:

[Esta obra]... vem resolver problemas decorrentes da “massificação do ensino”, que atualmente leva a um maior número de alunos por turma (...) uma vez que apresenta uma solução válida aos problemas mais comuns inerentes à estrutura de ensino superior brasileira: preparo inadequado dos alunos para iniciar seus estudos na universidade, falta de motivação e desnível entre os alunos, e ainda, tempo insuficiente por parte dos professores para preparo de suas aulas (O'Connor, 1977).

Frente aos problemas relatados, retomemos o final da década de 1950, quando uma das maiores preocupações do governo estadunidense, no que se refere à educação, era recuperar o interesse dos estudantes pelas ciências. Era necessário melhorar a imagem pública da ciência (Rakestraw, 1958) e promover a alfabetização científica, formando cidadãos capazes de entender os métodos da ciência e o papel da química na sociedade e no cotidiano (ACS, 1958). Uma das principais estratégias propostas para o ensino secundário foi a adoção do tema central “Ligações químicas”, a partir do qual o curso deveria ser desenvolvido, sobre uma base experimental. Já para o ensino superior, uma das principais discussões era a necessidade de estabelecimento de um equilíbrio entre os aspectos práticos e teóricos (Nicholson, 1956; Hammond, 1970; Hammond & Nyholm, 1971) e a desconstrução da divisão clássica e estanque das subáreas da química, a qual seria responsável por um “paroquialismo” prejudicial, ao dificultar o reconhecimento da química como uma ciência de interfaces (Hammond, 1970; Hammond & Nyholm, 1971).

Como forma de expressão do currículo, os livros didáticos acompanharam tais tendências, e seus autores passaram a evidenciar maior preocupação com o entendimento dos estudantes e com o estabelecimento de relações entre o conhecimento químico e possíveis áreas de interesse dos mesmos, tendência mais uma vez evidenciada nos textos de apresentação das obras.

Através de curtas introduções às unidades, poderemos também sugerir algumas das aplicações da química em outras áreas; é por isso que a química deve ser

conhecida, mesmo se vocês não vão ser químicos profissionais (O'Connor, 1977 – Prefácio ao estudante).

Ao revisar o texto tivemos dois objetivos principais: tornar o texto mais útil, legível e interessante para os estudantes (...) entremeamos mais exemplos de substâncias e aplicações da química nas discussões. O aspecto visual do livro também foi melhorado e um grande número de fotografias foi adicionado para tornar a química mais viva para os estudantes. Além disso, a forma pela qual os tópicos discutidos em cada capítulo relacionam-se com o mundo que nos cerca é enfatizada pela fotografia que inicia cada capítulo (Brady & James, 1986).

[Tivemos como objetivo principal] oferecer ampla visão dos princípios da química e da reatividade dos elementos e compostos químicos. Também tentamos transmitir a idéia de a química, que tem uma história expressiva, ser também um campo dinâmico, com novos e importantes desenvolvimentos à vista. Além disso, procuramos mostrar aspectos químicos do nosso ambiente. Por exemplo, quais os materiais importantes para a economia? Como a química contribui para a medicina? (Kotz & Treichel, 1998, p. v.)

A forma como essas tendências se manifestam também nas ilustrações constitui observação ainda mais interessante. A Figura 15 torna claro o aumento da presença de ilustrações referentes ao “Cotidiano” na década de 1980. Ainda que muito menos pronunciado, também foi observado aumento na ocorrência de ilustrações pertencentes à categoria “Indústria e meios produtivos”.

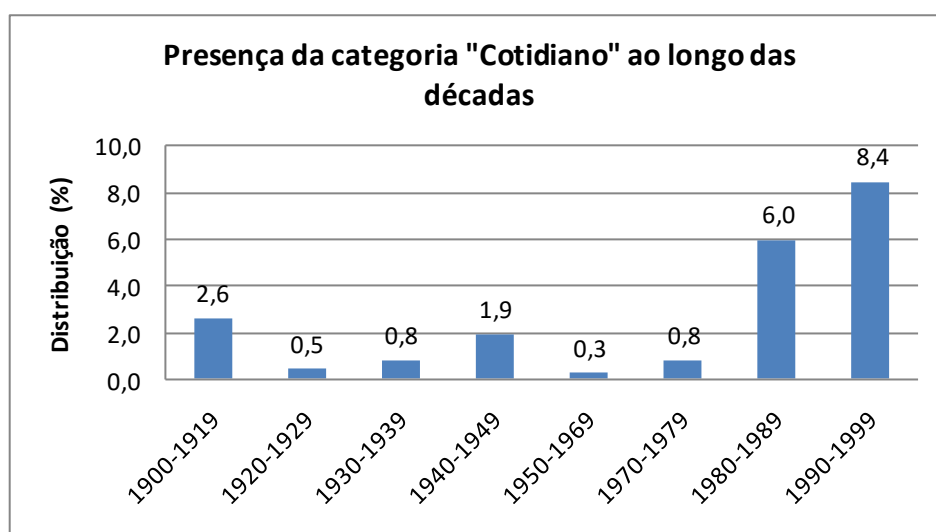


Figura 15. Ocorrência da categoria “Cotidiano” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

Apesar da reaproximação dos aspectos aplicados da ciência química ser apresentada nos textos e artigos apresentados como estratégia necessária para uma divulgação da química “tal como ela é”, em contraposição à visão compartimentada da metade do século XX, investigação realizada sobre o uso dos livros didáticos nos cursos de química geral do IQ-USP aponta para outro fator. Como será apresentado na Parte II deste capítulo, uma das professoras do IQ-USP apontou que a escolha do livro didático dependia da capacidade dos alunos em acompanhar uma abordagem mais rigorosa, em termos de tratamento matemático dos conceitos. Diante da crescente dificuldade das novas turmas de alunos (a partir da década de 1980), essa professora passou a preferir livros que colocassem menos ênfase no tratamento matemático. Tal relato sugere reflexões sobre como as diferentes propostas dos livros didáticos são interpretadas por aqueles que deles farão uso.

Estilos e tendências

A proposição de rótulos categóricos ao tipo de material didático produzido por um país pode ser um tanto arbitrária, uma vez que o livro traz consigo características não apenas do ambiente (social, econômico e político) em que foi produzido, mas também da história de formação e das crenças de seu autor. É nesse aspecto que os historiadores interessados nas discussões sobre a existência de *estilos nacionais* chamam atenção para os cuidados com a transformação desse conceito em mero desenho de *caricaturas nacionais*. Considerando as diferenças entre as obras e autores analisados, no entanto, algumas tendências para o ensino de química parecem se tornar evidentes, caracterizando tipos distintos de produção didática no período estudado.

No início do século XX, o ensino descritivo da química, valorizando os aspectos relativos à síntese e à análise, mostrou-se presente de forma significativa nas obras francesas, seguidas pelas estadunidenses, ainda que de forma menos intensa e aparentemente com outros objetivos. Se realmente houve essa maior dificuldade de abandono dos aspectos eminentemente empíricos por parte dos autores franceses, parte disso possivelmente se deve a influências da filosofia positivista, a qual teve a França como berço e principal fonte difusora. Em trabalho publicado em 1998, Bram e Anh atribuíram ao positivismo de alguns cientistas franceses, relutantes à especulação de fenômenos não diretamente observáveis e, por esse motivo, céticos frente às teorias, pelo atraso do desenvolvimento da química orgânica na França no século XX (Bram & Anh, 1998).

Já o maior destaque atribuído pelos autores estadunidenses aos processos industriais e

aos meios produtivos, ou, em última instância, à aplicação do conhecimento apresentado, é tema de trabalhos de pesquisa em diferentes áreas (Harwood, 1987; Reingold, 1991; Fangerau & Müller, 2005). Tratando das pesquisas em genética desenvolvidas no período entre guerras nos EUA e na Alemanha, Harwood (1987) identifica um caráter mais prático e especializado no primeiro país e um caráter mais teórico e geral na pesquisa alemã. Essa distinção não se restringia à genética, e foi atribuída pelo autor à estrutura e dinâmica dos sistemas universitários alemão e estadunidense. Este último, vivendo a rápida expansão dos institutos de pesquisa do final do século XIX e incentivando a especialização através criação de novas disciplinas, se contrapôs a um sistema alemão estagnado em meio a uma crise econômica no período de 1870 a 1933 (Harwood, 1987). Nesse contexto, o autor afirma que, com a imigração de um grande número de cientistas alemães para os EUA após 1933,

Os imigrantes se surpreendiam com a preocupação de seus anfitriões americanos com métodos e medições; os americanos se impressionavam com a predileção de seus convidados pela teorização em grande escala (Harwood, 1987, p. 394).

As considerações apresentadas pelo autor reforçam, ainda, as características apontadas por nós acerca das obras alemães analisadas.

Todas essas obras estrangeiras aparentemente tiveram significativa circulação no Brasil, motivo pelo qual foram analisadas, e, de alguma forma, influenciaram a prática de ensino de química no país. Constituiria outra interessante proposta de pesquisa, no entanto, a investigação de como essas influências estariam presentes no interior das salas de aula, refletidas na prática docente.

De maneira geral, a análise das obras publicadas a partir de 1940 evidenciou diferentes ênfases na forma de apresentação do conteúdo químico, decorrentes do compromisso com diferentes concepções de química ao longo do período estudado. Assim, passamos pela química enquanto ciência experimental (início do século XX), como ciência do invisível (ênfase nos princípios observada a partir dos anos 1950), como ciência de interfaces e de inegável influência tecnológica e, mais recentemente, como ciência da complexidade, como apresentado no prefácio da obra *Neoquímica*, de Nina Hall (2004) que, apesar de não constituir obra destinada ao ensino de Química Geral e nem ter sido publicada no período sob análise, apresenta algumas tendências para a percepção da ciência química em nossa sociedade.

Mais que uma forma de promoção de visão organizada do conteúdo trabalhado, resumindo o “consenso disciplinar” de determinada área, o presente estudo apresenta os livros didáticos como importante ferramenta na investigação de tendências nacionais no ensino de

ciências. Ainda que, conforme lembra Hallewell (2005), a produção de livros represente apenas uma pequena parte da produção, nesse caso científica, de uma nação, os resultados aqui apresentados sugerem que sua análise pode apresentar bons indícios não apenas sobre as concepções de ensino predominantes em um determinado país ou região, mas também sobre as concepções de ciência, sobre o processo de aceitação/refutação de determinado conceito ou teoria ou, até mesmo, para investigações mais profundas sobre a dependência intelectual. O aprofundamento dessas reflexões se constitui em possibilidade para outras investigações.

Para o professor de química, entendemos que estes resultados propiciam reflexões críticas em relação a sua postura diante dos livros didáticos. Ao observar as transformações dos livros de química geral ao longo do tempo, o professor poderá ter mais clareza ao analisar os vários fatores que levam os livros a se modificarem. Assim, o professor poderá refletir a respeito de sua própria concepção a respeito da química. Por exemplo: como ele próprio lida com o duplo caráter de ciência das substâncias e ciência das moléculas, em seu planejamento de ensino e em sua atuação didática; ou qual a abordagem mais adequada para um determinado momento, considerando as especificidades de cada turma de alunos. Além disso, o professor talvez encontre explicações mais sólidas para compreender as grandes modificações experimentadas pelos livros didáticos nas duas últimas décadas. É inescapável observar que muitas modificações se devem a avanços técnicos que permitiram, por exemplo, a multiplicação das ilustrações em cores. Entretanto, este trabalho mostra que esses avanços técnicos estão a serviço da concretização de certas concepções a respeito do que é a química, e de como ela deva ser ensinada. Muitas ilustrações buscam representar modelos submicroscópicos para a matéria, de formas cada vez mais sofisticadas, e relacioná-los com observações dos fenômenos macroscópicos. O professor precisa estar atento a esses aspectos e discutir explicitamente essas questões com seus alunos, a fim de construir uma visão mais abrangente e menos superficial a respeito do que é a representação em química, e qual o seu papel no conjunto dos conhecimentos dessa ciência.

A análise que realizamos poderia, eventualmente, despertar reflexões também junto a autores de livros didáticos de química geral. A compreensão mais ampla da diversidade de fatores que afetam o ensino de química poderia ajudar a esses autores a encontrar formas de apresentar a complexidade do conhecimento químico. Para isso, seria importante que considerassem não apenas os avanços recentes da ciência química, mas também os estudos em ensino de química e, ainda, as recentes discussões referentes à própria filosofia da química.

Parte II – O uso do livro didático de química: o caso do IQ-USP

Conforme já mencionamos, os livros didáticos são convertidos, em maior ou menor grau, em referenciais diretos para conteúdos abordados, exemplos utilizados, atividades desenvolvidas e problemas propostos. Daí a importância de serem analisadas as propostas editoriais em suas diferentes dimensões. Isso não significa desconsiderar, porém, que alterações podem ser sofridas pelos livros didáticos na prática escolar, pois os textos são reinterpretados com base nas histórias de vida dos professores, suas concepções curriculares e a cultura escolar na qual se inserem (Abreu, Gomes & Lopes, 2005).

A maioria das produções acadêmicas relativas aos livros didáticos vem, de maneira muito pertinente, preocupando-se com aspectos relativos ao próprio livro e ao seu conteúdo. Seguindo direção igualmente importante, produções mais recentes têm evidenciado diversificação de temas e fontes de pesquisa, abarcando outros aspectos relativos ao livro didático como sua concepção, produção, uso, relações com políticas públicas, indústria cultural, entre outros (Fernandes, 2004). Ainda assim, os livros destinados ao ensino universitário permanecem marginais, raramente constituindo objeto de pesquisa.

Ainda que documentos como planos de ensino e eventuais relatórios de aula possam atuar como indicadores do uso dos livros didáticos na universidade, a compreensão do papel histórico assumido por eles será tanto maior quanto maior for a aproximação daqueles que efetivamente deles fizeram uso, não apenas como professores, mas também como estudantes. Nessa perspectiva, as fontes orais, possibilitando o contato com diferentes sujeitos, com distintas vivências e percepções de mundo, podem contribuir para alcançar o objetivo aqui delineado. Essa aproximação não se faz, no entanto, livre de questionamentos e cuidados, inerentes a qualquer metodologia empregada.

A história oral, entendida como trabalho de pesquisa que utiliza fontes orais em diferentes áreas de conhecimento, através da realização de entrevistas gravadas com pessoas que viveram ou testemunharam acontecimentos, conjunturas, instituições, modos de vida, ou outros aspectos da história contemporânea (Associação Brasileira de História Oral, 2004), assume considerável importância no contexto da pesquisa em história da educação, se considerarmos que

A história oral é uma história construída em torno de pessoas. Ela lança a vida para dentro da própria história e isso alarga seu campo de ação..., estimula professores e alunos a se tornarem companheiros de trabalho..., propicia o contato – e, pois, a compreensão – entre classes sociais e entre gerações... Em suma, contribui para formar seres humanos mais completos (Thompson, 1992, p. 44).

Nesse processo, o pesquisador deve estar atento a algumas características inerentes à utilização da memória como fonte de pesquisa, entre as quais se destaca a subjetividade intrínseca ao pesquisador, ao escolher os depoentes e o assunto a ser tratado na entrevista, e ao próprio entrevistado, uma vez que

o depoente, por sua própria natureza, proporciona uma visão pessoal, subjetiva, parcial da realidade; uma seleção dos eventos do passado, consciente ou inconsciente, que obedece a princípios diferentes daqueles que estão na base da seleção operada pelo historiador ao longo da pesquisa (Vangelista, 2006, p. 186).

A subjetividade associada ao depoente remete a outra característica desse tipo de pesquisa: o fato de que o relato da realidade produz a história, como ele mesmo produz a realidade. Assim, muitos momentos das entrevistas coletadas na presente pesquisa evidenciam a situação alertada por Cunha:

As pessoas vão contando suas experiências, crenças e expectativas e, ao mesmo tempo, vão anunciando novas possibilidades, intenções e projetos. Às vezes torna-se até difícil separar o vivido do que está por viver (Cunha, 1997).

A confluência entre experiência e narrativa, no entanto, faz parte da expressão de vida de um indivíduo, constituindo, assim, característica pertinente às pesquisas envolvendo narrativas, especialmente quando essas se encontram baseadas em memórias.

A escolha dos entrevistados

Buscando esclarecer aspectos a respeito do uso de livros didáticos de química geral ao longo do século XX, em uma instituição de ensino superior, foram entrevistados, a partir de fundamentos teóricos da história oral, seis docentes do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP) contratados no período compreendido entre 1939 e 2002. O primeiro critério balizador da escolha dos depoentes estava relacionado à obtenção de depoimentos procedentes de indivíduos que viveram sua formação profissional e lecionaram em diferentes épocas. Assim, conforme será apresentado, existe um intervalo de 52 anos entre a graduação do professor mais “antigo” e do mais “novo”. Além disso, na medida do possível, os professores foram selecionados em função de sua atuação (pontual ou contínua) como docente em disciplinas de Química Geral ou equivalentes, oferecidas para alunos de graduação em química no IQ-USP. A escolha desse conjunto de disciplinas deveu-se à sua grande importância e caráter formador, enquanto responsável pela discussão de conceitos introdutórios e indispensáveis à continuidade dos estudos de graduação em química.

Ainda que se tenha optado pela não identificação nominal dos entrevistados, segue breve apresentação dos docentes com alguns dados relevantes para situá-los em seu contexto de formação e atuação profissional.

Professor 1: Esteve entre os primeiros químicos, e também entre os primeiros doutores, formados pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Foi aluno do Professor Heinrich Rheinboldt, fundador e primeiro gestor do Departamento de Química, que o convidou a assumir o cargo de Assistente Adjunto ainda no final da década de 1930. Iniciou assim sua atividade docente, que prosseguiu com grande sucesso: alcançou o cargo de professor catedrático na década de 1950, ocupou diversos cargos de chefia, e continuou sua docência na graduação até a aposentadoria na década de 1980.

Professor 2: Graduou-se, doutorou-se e obteve o título de Livre Docente pela USP. Atuou como Professora Assistente desde a década de 1950, e alcançou o cargo de catedrática no início da década seguinte.

Professor 3: Graduado no final dos anos 1940 também pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, ingressou como Professor Assistente Doutor na década seguinte. Durante sua graduação, foi aluno dos Professores 1 e 2.

Professor 4: Graduado em Química pela Universidade de São Paulo no início dos anos 1970, esteve entre os primeiros alunos a concluir o curso nas atuais instalações do IQ-USP na Cidade Universitária. Obteve os títulos de Doutor e de Livre Docente pela mesma instituição. Sua atuação docente iniciou-se na década de 1970, quando foi contratado como Professor Assistente no IQ-USP. Durante sua graduação, foi aluno dos Professores 1, 2 e 3.

Professor 5: Bacharel e licenciada em química pela USP nos anos 1960, obteve seu título de Doutor em Química pela mesma instituição na década seguinte. Foi contratada como docente no IQ-USP após trabalhar por dois anos como Auxiliar de Ensino, ainda na década de 1970. Durante sua graduação, foi aluna dos Professores 1, 2 e 3.

Professor 6: Graduado em química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) no final da década de 1980, obteve seu título de Doutor em Química em meados do decênio seguinte pela mesma instituição. Após atuar por mais de um ano como pesquisador associado

em uma importante universidade dos EUA, e como professor visitante em uma universidade federal da região sul do Brasil, foi contratado como Professor Doutor no IQ-USP no início dos anos 2000.

As entrevistas foram marcadas nos horários e locais que melhor convinham aos depoentes, os quais coincidiram, em sua totalidade, com suas salas de trabalho. Aos professores foi solicitado que discorressem sobre o papel do livro didático em sua vida acadêmica como estudante e como docente. Considerando a imensa diversidade de disciplinas cursadas, seus respectivos professores e, conseqüentemente, de estratégias de ensino, solicitou-se que, sempre que possível, os entrevistados remetessem suas memórias à disciplina de Química Geral ou equivalente. Os depoimentos foram gravados em áudio digital, mediante autorização dos entrevistados, para posterior transcrição e análise.

Antes da apresentação dos depoimentos propriamente ditos, é importante destacar que, ainda que se tratem de pontos de vista individuais, construídos a partir de uma trajetória de vida única, Fernandes afirma que:

Valores e experiências comuns a grupos e sociedades estão presentes, por exemplo, nos significados atribuídos aos indivíduos, aos acontecimentos e aos objetos que emergem nas memórias ou que são preservados como suportes de lembranças (Fernandes, 2004, p. 535).

Ainda concordando com a autora, cabe destacar, finalmente, que como em outros trabalhos que utilizam essa metodologia, os depoimentos coletados poderiam ter sido outros, se tivesse acontecido em outros contextos (Fernandes, 2004; Choppin, 2004).

O uso do livro didático no IQ-USP

A interação com diferentes gerações de estudantes e professores evidenciou diferentes estratégias de uso dos livros didáticos nas salas de aula universitárias e mesmo diferentes concepções acerca de seu papel nesse contexto. Sendo essas posturas fortemente influenciadas pelo momento de desenvolvimento do curso e mesmo pela evolução do próprio Departamento de Química – inicialmente vinculado à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, e posteriormente incorporado, por ocasião da reforma universitária, ao Instituto de Química da USP – é pertinente fazer uma breve apresentação das origens desse Instituto.

O curso de química da USP surgiu em 1935, quando foi criada a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras dessa universidade. Para sua organização e implementação foi contratado o professor Heinrich Rheinboldt, da Universidade de Bonn, o qual chegou a São

Paulo em julho de 1934, sendo auxiliado pelo professor Heinrich Hauptmann, proveniente da *École de Chemie* (Genebra) a partir de fevereiro de 1935. As atividades de ensino se iniciaram em instalações pertencentes à Faculdade de Medicina, sendo posteriormente transferidas, especialmente em razão do espaço físico, para um prédio na Alameda Glette, em janeiro de 1939 (Senise, 2006).

A forte admiração pelos professores Rheinboldt e Hauptmann, e a satisfação decorrente do convívio com os mesmos, ficou evidente nas falas de três dos entrevistados. Nesse contexto, surgem os primeiros indícios sobre o papel assumido pelo livro didático nos primórdios do IQ-USP, bem como, em alguns casos, as influências da conduta pedagógica assumida pelos primeiros docentes sobre a posterior atuação profissional dos entrevistados.

Professor 1: Nós tínhamos como referência principal as aulas do Professor Rheinboldt, ele era de uma didática fora do comum, ele foi um professor realmente extraordinário. Ele tinha o dom de saber apresentar a matéria de maneira muito acessível. Ele tinha uma forma bastante pessoal. Ele não seguia livro nenhum. O que nós fazíamos na época era tomarmos os apontamentos das aulas dele. Quando eu tive que substituí-lo afinal, com a morte dele, que ocorreu em dezembro de 55, eu fui dar o curso dele já em 56, eu procurei me espelhar nele primeiro. (...) Eu acho que o que eu fiz ele devia fazer, aliás muito melhor do que eu, era vendo várias fontes, ter conhecimentos próprios, as próprias pesquisas, e desta forma elaborar uma aula.

Professor 2: (...) a gente estudava pelos apontamentos, não estudava pelos livros (...). Esses professores eram uma novidade aqui. A gente gostava de ouvir as aulas deles (...). Hoje [o livro] é importante. Naquele tempo a gente queria ouvir os professores.

Professor 3: O livro não tinha presença nenhuma, não, não (...). O curso se resumia no indivíduo tomar nota de tudo que o professor falava. O professor, tudo que falava botava na pedra [*i.e.*, na lousa], então, principalmente o Rheinboldt, eram aulas maravilhosas, etc., completas. Tinha execução de experiência, mas era o indivíduo que fazia o seu caderno. Tomando nota de tudo que o professor fazia.

Ainda que seja evidente o papel central ocupado pelo professor, enquanto “fonte” do conhecimento apresentado, é importante atentar para a escassa oferta de livros mencionada pelos professores, especialmente no que se refere às traduções para o português.

Professor 1: Havia também uma dificuldade na indicação de livros porque... Praticamente, naquela época, em 1935/36, eu comecei o curso em 35, nós não tínhamos livros em português, e em espanhol ainda eram poucos, e alguns talvez nem muito recomendáveis. De maneira que havia os livros em inglês, o Prof. Rheinboldt poderia até ter indicado em alemão, mas ninguém ia entender. Depois, em inglês também poucos ainda tinham o conhecimento, era aquele inglês de colégio.

Em seu texto “Cem Anos de Química no Brasil”, Simão Mathias (1975) tratou dos acontecimentos que, a partir de 1875, impulsionaram o desenvolvimento da ciência química no país. Mathias, que pertenceu à primeira turma de químicos formados pela USP, destacou a publicação da primeira edição de *Noções de Química Geral* (1875), de João Martins Teixeira, como um marco, pois se tratou de “obra que, durante vários decênios, foi amplamente usada no país” (Mathias, 1975). A essa publicação seguiram-se várias outras, especialmente no Rio de Janeiro. Considerando que, nesse período, o ensino superior de química se dava, além de nas escolas de engenharia, também nas escolas de medicina, podem-se citar as *Noções elementares de química médica, apresentadas em harmonia com as doutrinas químicas modernas* (1872) e as *Noções de Química Geral* (1881) de Manoel de Morais e Valle. Destacaram-se ainda, no período, os *Apontamentos de Química*, publicados em 1883 por Álvaro Joaquim de Oliveira. Sobre essa última obra, escreveu Rheinboldt (1955):

É esta a melhor e mais original obra brasileira que conheço, longe de uma simples compilação ou quase cópia de um ou alguns poucos originais estrangeiros... Uma obra de alto nível filosófico, comparável aos livros clássicos da reforma da teoria química de A. Wurtz e Lothar Meyer... e que, se escrita em língua mais acessível, teria sido colocada ao lado das obras clássicas da época (Rheinboldt, 1955, p. 56-57).

O reconhecimento dedicado por Rheinboldt a algumas das obras publicadas por autores brasileiros, somado ao fato de que existem exemplares de todas as obras mencionadas nas bibliotecas da Faculdade de Medicina e/ou do Conjunto das Químicas da USP, com destaque para as *Noções de Química Geral* de Teixeira, para a qual foi encontrada edição de 1931 (três anos antes do início do curso de química da USP), conduz à questão de se essas

obras seriam adequadas ao ensino que então se implantava na USP. No mesmo texto, Rheinboldt sugere que não, devido ao fato de que essas obras se tornavam rapidamente desatualizadas. Ou seja, o livro de Oliveira era notável para o final do século XIX, mas inadequado para os novos tempos vividos por essa ciência. Sobre uma edição de 1898 do tratado de Oliveira, Rheinboldt escreveu:

Continuando o autor, ainda nessa época e com a mesma justificação, partidário convencido... da invariabilidade do número de valência dos elementos químicos, duvidamos ter esta nova edição continuado a prestar serviço benéfico num país em que livros desse gênero se vendem lentamente e ficam em circulação e uso por muito tempo (Rheinboldt, 1955, p. 59).

A própria concepção defendida por Rheinboldt para o ensino superior de química não estimulava a busca por livros didáticos. Muitas críticas (nacionais e internacionais) dirigidas ao ensino de química no Brasil do final do século XIX e início do século XX estavam diretamente relacionadas às deficiências no ensino experimental, sendo o ensino da química desenvolvido com base em manuais. A esse respeito, Rheinboldt escreveu:

Não é com livros nem com conferências que se aprende química. Ainda que possua enorme conhecimento de fatos e até conheça a fundo a literatura, um indivíduo pode não ser um verdadeiro químico e não passar de um *lexicon* ambulante. A base do ensino da química é a situação; o aluno precisa ser educado a fim de aprender a pensar por fenômenos... As principais preleções devem, pois, ser preleções experimentais (Rheinboldt *apud* Mathias, 1975, p. 21-22).

Cabe destacar a grande valorização das anotações feitas pelos alunos nas célebres aulas do mestre, e seu papel como principal fonte de estudo, “tradição” passada às gerações seguintes e preservada apesar do maior acesso às produções editoriais. Essa valorização é evidenciada pelas falas dos Professores 4 e 5, ex-alunos dos Professores 1, 2 e 3, que, inclusive, apresentaram suas anotações, já desgastadas pelo tempo, durante as entrevistas. É interessante notar, no entanto, as distintas funções atribuídas por cada um dos sujeitos, enquanto estudantes de graduação, às notas de aula.

Professor 4: Eu pegava aula por aula do professor [Professor 1], copiava a aula inteirinha, aí eu pegava meia dúzia de livros, levava pra casa e compunha a aula inteirinha a máquina, ou a mão (...). Isso aqui não são as aulas que eu assistia, são as aulas que eu montei. Isso aqui está mais rico que a aula que eu tive. Eu anotei tudo (...). Como os professores tinham a mesma postura que eu, não adotavam um

livro, você pegava uma aula do professor [Professor 1], quem montava a aula depois como eu fazia, percebia que ele pegava de 20 fontes, que não era um livro.

Professor 5: Eles davam [o conteúdo] muito completo (...). A aula era muito completa, mas não tinha referência [livros]. O professor fica contente quando o aluno devolve o que ele ensinou e isso a gente fazia muito bem com os cadernos.

Apesar da forte influência da chamada (pelos próprios professores) “escola rheinboldtiana”, a crescente oferta de livros associada ao aumento do número de vagas para ingressantes – com especial destaque para a década de 1970, quando o atual Instituto de Química foi criado como resultado da reforma universitária – começou a modificar as formas de uso dos livros didáticos e, seja como causa ou consequência, as práticas pedagógicas correntes.

Professor 3: Quando a gente veio pra cá [referindo-se ao atual IQ-USP], aí mudou tudo as coisas. Quando nós viemos pra cá começou a prática de livros, começa a consultar livros. Eu acredito que foi por que os livros tinham muito mais acesso, tinha muito mais produção de livro.

Professor 4: (...) o ensino se massificou [referindo-se ao período de 1970 a 1978], as pessoas começaram a dar aula distribuindo carga horária, cada um dá um capítulo, o professor deixou de ter uma proposta pedagógica no curso, virou uma coisa mais de sobrevivência, e perdeu muito essa vinculação de eu querer ensinar algo porque eu acredito naquilo.

Professor 5: Na década de 70, 60 já começou a aparecer livro (...). Livros assim mais didáticos (...) Nos cursos que eu participei a gente não adotava livro, a gente dava uma lista. Eram recomendados livros, mas a gente nem falava, compra tal livro (...). Daí começou uma coisa que na Glette [referência às instalações posteriores à Faculdade de Medicina] não tinha: fazer relatório. Então tinha relatórios com perguntas, e os alunos tinham que consultar livros pra responder.

De fato, o curso de Química permaneceu instalado na Alameda Glette até dezembro de 1965, quando houve a mudança para o conjunto de pavilhões denominado “Conjunto das Químicas”, na atual Cidade Universitária. Essa mudança permitiu aumentar o número de vagas de graduação de 25 para 60, além de propiciar também a expansão da pesquisa.

Associado a esse crescimento, no entanto, Senise (2006) reporta um processo de massificação, com sensíveis modificações na proposta pedagógica do curso:

Com a transferência para a cidade universitária houve grande mudança nas condições de vivência não apenas pelo enorme aumento do espaço físico, como também pela modificação dos métodos de ensino. Com efeito, passou-se de uma forma compacta de ocupação do espaço para outra com grande folga provocando um certo distanciamento, como também não foi possível manter o sistema de “laboratório aberto”, pois o indispensável aumento de vagas obrigou a programar o ensino prático com experimentos previamente agendados. Foi o começo da massificação do ensino; é como se de uma atividade artesanal se passasse, quase que de repente, para um sistema de larga escala (Senise, 2006, p. 67).

A referência feita pelo Professor 4 à organização dos docentes responsáveis por uma disciplina segundo os capítulos de determinada obra (“cada um dá um capítulo”), apontam para a incipiente prática de “adoção” de um livro didático, a qual é recorrente na fala de outros professores, sendo alvo de críticas de alguns e bandeira de outros, como sugerem as falas anteriores e as que seguem. É interessante notar, especialmente na fala do Professor 3, a composição entre passado e presente, na qual o depoente contrapõe o vivenciado como estudante com sua postura atual enquanto docente:

Professor 3: O aluno nunca comprou o livro. O aluno foi muito mal educado nesse sentido. Ele se restringia naquilo que o professor dava. Durante muito tempo foi assim (...). O curso tem que ser baseado em um livro e o aluno tem que comprar o livro (...). Todo curso dado tem que ter um livro acompanhando e que o professor mande, por sua conta, estude daqui até lá (...) não importa a qualidade, tem que ter um livro, tá entendendo?

Professor 4: (...) lá [referindo-se ao curso de Farmácia] como eles não gostam de assistir aula, eu indicava pra leitura mesmo, falava: lê que eu vou cobrar, e eu cobrava. Foram as piores aulas que eu dei na minha vida. Porque o tipo de aula que você fala pro aluno: Oh! Lê o livro, sem discutir, o professor perdeu o sentido.

Como evidencia a fala acima transcrita, a forma de utilização do livro didático parece estar diretamente relacionada com a percepção que o professor tem de seus próprios estudantes no que se refere às suas preferências, práticas e, sobretudo, suas potencialidades. É

importante ressaltar que não só a forma de utilização do livro é influenciada por essas concepções, mas a própria escolha do livro utilizado.

Professor 5: E os livros mesmo de nível universitário, na década de 70, o mais famoso era o Mahan¹⁶, mas era um aluno diferente, uma época diferente. Olhando agora o livro do Mahan (...) a gente já falava sobre o Mahan, e falava: olha, é um livro árido, é um livro que não quer ser atraente, ele não faz concessão pra ser agradável, é um livro rigoroso, mas, naquela época, o aluno aguentava isso (...) Lá na década de 70 você tinha alunos brilhantes. Quando começou a entrar em 80 o aluno não seguia, se você puxava muito o aluno não ia... Então eles não iam conseguir pegar um livro mais pesado. O livro tinha que se adaptar ao aluno, conforme a capacidade do aluno acompanhar. Então a gente ficava mesmo mais no Mahan, no começo. Depois a gente parou de indicar porque começou a ficar difícil. Principalmente porque o aluno começou a gostar de coisa mais agradável de ler.

É nesse contexto que se destaca a fala do Professor 6, o mais jovem dos depoentes, graduado em 1989. No trecho que segue, o entrevistado trata de uma prática que havia sido definida para a disciplina de Química Geral para os cursos noturnos de graduação em química naquele ano, quando um único livro didático foi adotado. Ao rememorar seu tempo de estudante de graduação, o depoente se referiu a prática semelhante:

Professor 6: É porque a gente acha que eles [*i.e.*, os alunos] estavam ficando perdidos com as várias opções, enquanto que nós professores temos discernimento suficiente, e os alunos mais velhos, de terceiro, quarto ano, já têm um certo discernimento, a condição de olhar qual é o melhor, qual é o mais adequado. Os alunos que estão entrando, os calouros, primeiro já têm o costume de ter um livro adotado. Então eu acho que surgiu pra não ser um choque muito grande pra eles, que chegam e têm aquele monte de opções e eles nem sabem (...). Quando chega aluno de terceira, quarta chamada, já não são os melhores alunos, já começa o curso um mês atrasado, então têm muita dificuldade.

A escolha do livro, nesse caso, baseou-se em critérios que ultrapassaram a análise de sua proposta didática:

¹⁶ Mahan, B. M. *Química: um curso universitário*. São Paulo: Edusp, 1970.

Professor 6: Aí já é uma controvérsia, porque pro aluno você tem que falar, é esse aqui. Mas sempre chama a atenção deles o fato que um bom livro de Química Geral, que existem vários, cada um escolhe aquele que se adapta melhor. Agora vai ser adotado um livro, não é o que eu mais gosto, mas houve consenso, é o Brown¹⁷ (...). A minha preferência pessoal é o Kotz¹⁸ mas, na última reunião foi ponderado que o Kotz tem um grave defeito, ele foi editado em dois volumes em português (...). Você obriga o aluno a comprar dois volumes, então por isso resolveram indicar o Brown, ele tem algumas falhas, mas, é livro de química. Se você ensinar direito em cima do livro... Nós vamos fazer uma lista com vários livros e vamos passar pra eles.

A influência do mercado editorial nas características dos livros disponíveis, bem como na escolha e na avaliação dos livros por parte dos docentes, evidentemente determinante na escolha do livro acima referido, apareceu muito clara também em outros depoimentos:

Professor 4: [Os livros atuais] São tudo livros de consumo, que têm figurinhas bonitinhas, ilustrações lindas, aquela linguagem bem feijão com arroz, superficial, bem de informação. Então é isso que emplacou nos últimos anos. A química como informação, uma coisa agradável, bonita, não uma química como ciência.

Professor 5: (...) muitos livros a gente ganhava, então dependia da oportunidade que a gente teve de ganhar o livro.

Professor 3: [Entrevistador: O que leva um livro a ser usado?] Eu diria o preço, o fácil acesso, aquele livro que o professor conhece. Então ele indica. Porque eu uso o Atkins¹⁹? Por que ele é um livro de fácil acesso, todo ano tem edição nova, e todo contexto envolvido nisso, então faz com que o professor utilize... É a comodidade do contexto que faz a escolha de um certo livro.

A reflexão sobre os diferentes papéis assumidos pelos livros didáticos nas salas de aula universitárias, fortemente influenciados pelos movimentos sofridos não só na educação,

¹⁷ Brown, T. L. *et al.* *Química: a ciência central*. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

¹⁸ Kotz, J. C.; Treichel Jr., P. M. *Química geral e reações químicas*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

¹⁹ Atkins, P. W.; Jones, L. *Princípios de química*. Porto Alegre: Bookman, 2006.

mas também na economia, na figura da ampliação do mercado editorial, torna especialmente oportuna a citação de Demartini (1988):

muitas vezes o que julgamos ser uma mudança recente de valores, não o é; problemas que acreditamos serem atuais, também não o são, e, mais que isso, problemas que se acredita existirem por determinados motivos... em verdade são historicamente explicados (Demartini, 1988, p. 47).

Algumas considerações sobre o uso de livros didáticos de química geral no IQ-USP

Por meio dos depoimentos de diferentes gerações de professores de química da USP, foi possível observar algumas tendências em sua relação com os livros didáticos universitários ao longo do tempo. Nos anos que se seguiram à fundação da USP e à criação do Departamento de Química, o ensino de química permaneceu centrado na carismática figura do Prof. Rheinboldt. Vários fatores contribuíram para a não adoção de livros didáticos nesses primeiros anos: a excelência das aulas do mestre alemão; a escassez de textos especializados em português e o obstáculo representado pelo idioma no que tange ao uso de textos em língua estrangeira, reforçados pela concepção e busca do ensino prático predominante no período. Essa situação prevaleceu também entre os primeiros docentes formados na própria USP, cujos alunos prosseguiram a prática de centrar seus estudos em anotações de aulas.

Um momento que parece ter sido marcante em relação ao uso dos livros didáticos foi a reforma universitária, com a reorganização dos antigos departamentos, a criação do Instituto de Química e a expansão do número de vagas nos cursos de graduação. Nessa época, já estavam disponíveis livros didáticos universitários de química em língua portuguesa, e seu uso passou a ser mais fortemente incentivado. De modo geral, diferentes professores tinham (e têm) diferentes preferências em relação aos livros didáticos. Assim, tornou-se prática comum oferecer aos estudantes de química sugestões a respeito dos diferentes livros disponíveis no mercado – deixando ao próprio aluno a responsabilidade de estudar com aquele que considerasse mais adequado, ou mesmo recorrendo a mais de um livro.

Especialmente a partir da década de 1990, o IQ-USP pôde cada vez mais renovar seu quadro docente com pesquisadores formados em outras instituições brasileiras, graças à expansão da pesquisa em química em outras universidades, e também à institucionalização da pós-graduação no Brasil. Dessa forma, outros modos de pensar o ensino de química, distintos da bem estabelecida escola rheinboldtiana, foram cada vez mais se fortalecendo no IQ-USP. Além disso, outro fator apontado pelos docentes do IQ-USP é a mudança do perfil dos ingressantes na graduação – que trariam menos conhecimentos de química de seus estudos no

ensino médio, e que teriam menos autonomia para gerenciar seus próprios estudos. Diante desse quadro, conforme depoimento do Professor 6, os docentes responsáveis pelo ensino de Química Geral nos cursos noturnos de graduação em química decidiram, pela primeira vez, indicar um único livro didático para seus alunos no ano de 2009. Tal experiência, porém, não foi levada adiante, pois os próprios professores reconheceram que não havia um só livro que abordasse os conteúdos na forma e na profundidade desejada. Assim, prossegue a prática de se indicar vários livros para que os alunos estudem com os que preferirem.

A investigação de livros didáticos como índices de concepções a respeito da química, e de seu ensino ao longo do tempo, é uma das possibilidades de contribuição da perspectiva histórica para o ensino de química. Outro tipo de contribuição, que tem sido objeto de nossas pesquisas, é o desenvolvimento de estudos de caso em história da ciência, voltados para a discussão de pontos que sejam de interesse para a formação de professores, e estudantes de química de modo geral. Alguns estudos de caso, desenvolvidos em nosso grupo de pesquisa, visando discutir aspectos importantes da construção do conhecimento químico, são apresentados no capítulo a seguir.²⁰

²⁰ O Capítulo 4 foi baseado em Souza e Porto, 2012a, e Souza, Mate e Porto, 2011.

Capítulo 5 – Estudos de caso em história da química: explorando a complexidade da ciência

Diversos autores já defenderam que os educadores em ciências devem estar familiarizados com estudos de casos históricos, em vez de recorrerem, em suas atividades didáticas, a textos curtos ou a pequenas “caixas” de textos, que valorizam o conhecimento superficial de nomes, datas e episódios isolados e não permitem uma visão mais completa do processo da ciência. Allchin (2004) afirmou que os professores têm de adaptar o estudo de caso para seus alunos – e consideramos que este é um ponto fundamental. A inclusão de estudos de casos históricos no ensino de ciências pode assumir muitas formas diferentes (vide, por exemplo, Irwin, 2000; Wandersee & Griffard, 2002; Allchin, 2004; Metz, Klassen, McMillan, Clough & Olson, 2007). Como (e se) um estudo de caso pode ser discutido com um dado grupo específico de alunos, é uma decisão a ser tomada pelo professor, considerando as características e o contexto do grupo. Conforme discutido por Stinner, McMillan, Metz, Jilek e Klassen (2003), há muitas maneiras de se trabalhar com estudos de caso no ensino de ciências, mas isso depende de professores que “tenham mais do que conhecimento superficial da história e filosofia da ciência, e que tenham bom conteúdo e bom conhecimento pedagógico do conteúdo da ciência” (Stinner *et alii*, 2003, p. 624).

Assim, acreditamos ser necessária a discussão de tópicos de história da ciência em cursos destinados à formação de professores de química, no sentido de motivar reflexões sobre a natureza do conhecimento científico e também sobre como as idéias químicas podem ser apresentadas para os alunos. Além disso, concordamos com Abd-El-Khalick e Lederman (2000), quando afirmam que os professores não podem ensinar a respeito da natureza da ciência, a não ser que tenham sido adequadamente preparados para fazê-lo. Esses pesquisadores argumentam que a formação de professores tem de incluir abordagens explícitas a questões de história e filosofia da ciência, a fim de proporcionar aos professores um quadro conceitual atualizado sobre esses assuntos.

No contexto brasileiro, pode-se destacar o ainda pequeno número de materiais didáticos disponíveis que contemplam uma abordagem atualizada da história da ciência e que são condizentes com os objetivos atuais do ensino de ciências (Prestes e Caldeira, 2009; Martins, 2006). Entendemos, por isso, que há uma importante frente de pesquisa a ser explorada na interface entre a história da ciência e o ensino de química, no sentido de desenvolver estudos de casos que possam fornecer subsídios para reflexões sobre a natureza da ciência e os processos de construção do conhecimento químico. Assim sendo, neste

capítulo apresentamos alguns estudos de casos que desenvolvemos nos últimos anos, voltados especialmente para a formação de professores de química, ou de profissionais de química em geral. Poderão, entretanto, ser convenientemente adaptados pelos professores para uso no ensino médio, conforme os objetivos educacionais pretendidos. Alguns dos temas abordados podem ser propícios ao ensino de determinados conteúdos de química, ao mostrarem a construção de conceitos, por exemplo, que ainda hoje são utilizados na compreensão da química. Todos os casos, porém, podem promover reflexões a respeito da natureza da ciência, e podem auxiliar os estudantes a compreenderem aspectos peculiares, e vislumbrarem a complexidade, da atividade científica.

Estudo de Caso I: Lavoisier e o Tratado Elementar de Química

Introdução

Este estudo de caso sugere como algumas contribuições de Antoine Laurent Lavoisier (1743 - 1794) para a construção da química moderna podem ser utilizadas didaticamente. As informações encontradas em uma fonte primária (*Tratado Elementar de Química*, de Lavoisier) são confrontadas com os relatos encontrados em livros didáticos de química, e algumas discrepâncias são apontadas. Observa-se que alguns conceitos desenvolvidos por Lavoisier são relevantes para o ensino de química atual, e sua discussão pode despertar reflexões úteis para os discentes e docentes do ensino médio.

Avaliação feita por Costa e colaboradores (2006) evidenciou que os estudantes dos períodos iniciais do curso de química da UFMG têm poucos conhecimentos sobre Lavoisier e suas contribuições para a química. Levantamento feito por Cheloni, Leme e Porto (2006) entre alunos de licenciatura em química do IQ-USP revelou situação semelhante. Pode-se então indagar – embora Lavoisier seja conhecido por muitos estudantes e professores de química, e mesmo pelo público leigo, como um químico importante – as razões pelas quais suas realizações sejam tão pouco conhecidas.

Um aspecto a investigar é a presença de Lavoisier nos livros didáticos de química. Procurou-se confrontar algumas idéias sobre Lavoisier, comumente encontradas nos livros didáticos, com as palavras do próprio Lavoisier. A fonte primária escolhida foi o *Traité élémentaire de chimie*, de 1789 (na tradução inglesa, *Elements of Chemistry*, de 1790), a qual sumariza décadas de trabalho de Lavoisier e seus colaboradores na construção de uma nova abordagem teórica e metodológica para a química. Foram destacados, em fragmentos escolhidos nessa obra, três aspectos do trabalho de Lavoisier que, apropriadamente discutidos, podem ser úteis ainda hoje no contexto do ensino da química em nível médio: (1) conservação da massa; (2) definição operacional de elemento químico; e (3) nova nomenclatura química.

Investigação de alguns livros didáticos de Química

Os livros didáticos de química são unânimes em associar o nome de Lavoisier à conservação da massa nas transformações químicas. Entretanto, poucos avançam além disso, ou de escassos dados biográficos. Seleccionamos, como exemplos, trechos de dois livros seleccionados pelo PNLEM 2007, que servirão como ponto de partida para nossa discussão.

Entre esses cientistas, um dos mais importantes foi o francês Antoine Laurent Lavoisier. Seus trabalhos, realizados no século XVIII, foram tão importantes que alguns o consideram o “pai da química”. Entre suas contribuições, a mais conhecida e relevante é a Lei da Conservação da Massa, enunciada por ele após realizar inúmeras reações químicas dentro de recipientes fechados (Peruzzo e Canto, 2003).

No final do século XVIII, o cientista Antoine Lavoisier realizou uma série de experiências em recipientes fechados (para que não entrasse nem escapasse nada do sistema em estudo) e efetuando pesagens com balanças mais precisas do que as dos cientistas anteriores concluiu: no interior de um recipiente fechado, a massa total não varia, quaisquer que sejam as transformações que venham a ocorrer nesse espaço. Tal afirmativa ficou conhecida como lei de Lavoisier (ou lei da conservação da massa ou lei da conservação da matéria) (Feltre, 2000).

Esses fragmentos são representativos da visão oferecida pelos livros didáticos a respeito de Lavoisier e da própria natureza da ciência. Nos dois trechos a única contribuição atribuída a Lavoisier é a lei da conservação da massa, e não há menção à definição de elemento químico ou à nova nomenclatura. Tampouco são citados outros cientistas que colaboraram com Lavoisier. Os livros também sugerem que a lei da conservação da massa teria sido induzida a partir de uma série de observações experimentais. A leitura da obra de Lavoisier, entretanto, nos mostra um panorama bem diferente. A conservação da massa não foi induzida, mas postulada:

Podemos afirmar, como um *axioma* incontestável, que, em todas as operações da arte e da natureza, nada é criado; uma quantidade igual de matéria existe antes e depois do experimento; a qualidade e a quantidade dos elementos permanecem precisamente as mesmas; e nada ocorre além de mudanças e modificações na combinação desses elementos. Desse *princípio* depende toda a arte de realizar experimentos químicos. Devemos sempre *supor* uma exata igualdade entre os elementos do corpo examinado e aqueles dos produtos de sua análise (Lavoisier, 1790, pp. 130 – 131; grifos nossos).

Pode-se observar que Lavoisier claramente apresentou a conservação da massa afirmando-a como um princípio fundamental, o qual deveria orientar todos os trabalhos em química. Esse princípio foi postulado *a priori* – contrariando a visão simplista baseada na existência de um método científico indutivo e único.

Como curiosidade, vale notar que não é de autoria de Lavoisier o enunciado tantas vezes repetido de que “Na Natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”. Segundo Vanin (1994), esse seria um resumo do Livro I do poema *De rerum natura*, do filósofo latino Tito Lucrécio Caro (96 – 55 a. C.), que por sua vez seguia as ideias do filósofo atomista grego Epicuro (341 – 270 a. C.). Também é importante salientar que Lavoisier não foi o primeiro a trabalhar com a ideia de que a massa se conserva, pois outros filósofos naturais já haviam admitido isso implicitamente. Entretanto, Lavoisier foi o primeiro a expressar a conservação das massas explicitamente como um princípio, e a tomar essa idéia como fundamental para o estabelecimento dos estudos em química.

Observa-se também a importância do conceito de elemento que aparece no fragmento citado acima: a conservação da massa é entendida também como conservação dos elementos químicos. A idéia de elemento era discutida desde a Antiguidade; Lavoisier, porém, desenvolveu uma nova definição para o termo, que iria influenciar de maneira importante o desenvolvimento posterior da química.

A definição operacional de elemento químico

Assim Lavoisier apresentou sua concepção de elemento:

Se, pelo termo *elementos* quisermos expressar aqueles átomos simples e indivisíveis dos quais a matéria é composta, é extremamente provável que nada saibamos sobre eles. Entretanto, se aplicarmos o termo elementos... para expressar nossa idéia do último ponto que a análise é capaz de alcançar, devemos admitir, como elementos, todas as substâncias nas quais somos capazes, por quaisquer meios, de reduzir os corpos por decomposição... E nunca devemos supô-las como compostas, até que o experimento e a observação provem que são (Lavoisier, 1790, p. xxiv).

Segundo Bensaude-Vincent e Stengers (1992), a novidade dessa definição é que Lavoisier a apresenta como uma alternativa à tradicional definição, considerada metafísica, dos elementos ou princípios como constituintes últimos da matéria: sua nova definição é estritamente operacional, e torna o elemento uma entidade relativa e provisória.

O caminho percorrido por Lavoisier para a construção de uma “nova química” foi longo e complexo, e abrange muitos outros aspectos inter-relacionados que não seria possível aprofundar aqui. Assim, no contexto de suas considerações teóricas e de suas observações experimentais, água e ar deixam de ser considerados elementos – conforme dizia uma tradição secular, e uma nova explicação para a combustão também emergiu. Ao longo do século

XVIII, havia se desenvolvido a teoria do flogístico, segundo a qual a combustão consistiria no desprendimento do “princípio da inflamabilidade” (chamado de flogístico) pelos corpos inflamáveis. Dentro desse panorama conceitual se desenvolveram, por exemplo, os trabalhos de importantes químicos pneumaticistas, como Joseph Priestley (1733-1804), Henry Cavendish (1731-1810), e muitos outros. A partir de suas novas idéias, e de experimentos próprios, Lavoisier reinterpreto, por exemplo, alguns experimentos de Priestley – e identificou o “ar desflogisticado”, descrito por Priestley, com o componente do ar que se combina com os corpos inflamáveis por ocasião da combustão. Surgia, assim, o que poderíamos chamar de “teoria do oxigênio” para a combustão. Além disso, Lavoisier pôde dar novo significado à combinação de “ar inflamável” com “ar desflogisticado”, na qual Cavendish observara a formação de água: para o químico francês, tratava-se da combinação entre dois elementos químicos, o gás hidrogênio e o gás oxigênio. Lavoisier, além de dar novo significado a esse experimento de síntese da água, também realizou a decomposição dessa substância: fazendo passar vapor de água pelo interior de um tubo de ferro aquecido ao rubro, ele logrou a obtenção de gás hidrogênio, ficando o oxigênio combinado na forma de óxido de ferro. Esses são alguns dos exemplos que ilustram como a química emergiu, ao final do século XVIII, com uma face bem diferente daquela de meados do mesmo século (Alfonso-Goldfarb & Ferraz, 1993).

Como vimos, a definição operacional de elemento químico constituiu-se em um dos fundamentos de seu sistema químico, e se manifesta, de maneira evidente, na nova nomenclatura proposta pelo grupo de Lavoisier.

A nova nomenclatura

Antes da adoção generalizada da nova nomenclatura, cada substância descoberta ou preparada recebia um nome que poderia se relacionar com seu processo de obtenção, propriedade característica, sua origem, ou o nome de pessoas. Diversos nomes eram oriundos de antigas tradições, como da alquimia. Desse modo, não havia uma nomenclatura sistemática e padronizada, o que dificultava o aprendizado da química pelos iniciantes. Alguns exemplos de nomes antigos são citados na Tabela 15.

Diante dessas dificuldades, um grupo de químicos franceses se dedicou a desenvolver uma metodologia de nomenclatura, constituída por regras que facilitassem sua compreensão. Assim, em 1787, Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1810), Antoine François de Fourcroy (1755-1809), Claude Louis Berthollet (1748-1822) e Lavoisier publicaram o

Méthode de Nomenclature Chimique, cujo objetivo era sistematizar a nomenclatura química, tomando por base a composição das substâncias.

Tabela 15 – Origem dos nomes antigos de algumas substâncias.

Nome antigo	Origem do nome	Nome atual
cáustico lunar	Propriedade (cáustico – que queima); origem e composição (analogia entre a prata e a Lua).	nitrito de prata
açúcar de Saturno	Propriedade (sabor adocicado); origem e composição (analogia entre o chumbo e o planeta Saturno).	acetato de chumbo (II)
ar fixo	Propriedade (constituente de corpos fixos, isto é, não voláteis).	gás carbônico
régulo de antimônio	Idéia de metal como um composto.	antimônio elementar
sal de Glauber	Pessoa e método de obtenção (preparado pelo químico germânico Johann R. Glauber).	sulfato de sódio

Para isso, os autores se voltaram aos conceitos de classes e de espécies, comumente usados na nomenclatura botânica desde a metade do século XVIII. A esse respeito, Lavoisier escreveu:

Na ordem natural das idéias, o nome da classe ou *genus* é o que expressa uma qualidade comum a um grande número de indivíduos. O nome da espécie, ao contrário, expressa uma qualidade peculiar a certos indivíduos somente (Lavoisier, 1790, p. xxvi).

A partir dessas idéias, foram definidas as classes de substâncias, baseadas em suas composições elementares. Vejamos, por exemplo, como Lavoisier descreveu o método pelo qual ele e os demais autores da nova nomenclatura atribuíram nomes aos óxidos:

Substâncias metálicas, que foram expostas à ação conjunta do ar e do fogo, perdem seu brilho metálico, aumentam seu peso, e assumem uma aparência terrosa. Nesse estado... são compostos de um princípio que é comum a todos eles, e por um que é peculiar a cada um. Do mesmo modo, portanto, julgamos apropriado classificá-los sob um nome genérico, derivado de um princípio comum; para esse propósito adotamos o termo óxido; e nós os distinguimos pelo nome particular do metal que cada um possui (Lavoisier, 1790, p. xxviii).

Neste excerto, pode-se perceber que a nomenclatura que atribuímos atualmente aos óxidos metálicos é, essencialmente, a mesma atribuída por esses autores em 1787. Isso não

significa que a nova nomenclatura tenha sido universalmente aceita de imediato: durante ao menos vinte anos a proposta foi objeto de viva controvérsia, especialmente pelas mudanças teóricas e metodológicas que lhe eram subjacentes (Bensaude-Vincent & Stengers, 1992, p. 130-131).

Outro aspecto que chama a atenção ao se analisar os livros didáticos é a ausência de menção a outros químicos que colaboraram com Lavoisier. Um dos trechos citados acima se refere a Lavoisier como “o pai da química” – como se a ciência fosse resultado do esforço isolado de um gênio. Segundo Solomon (1987), isso pode gerar uma visão deformada da ciência, que ignora seu caráter de trabalho coletivo e de conhecimento que emerge como consenso da comunidade dos cientistas.

Algumas considerações sobre o caso das contribuições de Lavoisier

A proposição do princípio da conservação da massa mostra que a ciência nem sempre se faz de maneira indutiva: neste caso, Lavoisier fundamentou-se em uma hipótese que se mostrou muito importante para o desenvolvimento posterior da química. Além disso, o estudo de seu trabalho, com um pouco mais detalhe, justifica que o seu nome seja lembrado – não apenas em associação com aquele princípio, mas também por haver sistematizado o conhecimento químico de sua época sobre novas bases. A definição operacional de elemento químico e a nova nomenclatura são dois aspectos dessa sistematização que não têm sido lembrados pelos autores de livros didáticos – embora pudessem ser úteis para a iniciação nos estudos da química nos dias de hoje. Um estudo de caso abordando Lavoisier, se realizado de forma historiograficamente atualizada, permite mostrar que o trabalho desse químico não foi importante por uma suposta indução da “lei da conservação das massas” – mas sim porque estruturou as bases de uma nova abordagem para a química, abrangendo tanto aspectos teóricos (como a proposição de novos conceitos e novas explicações para os experimentos) como aspectos metodológicos.²¹

²¹ O Estudo de Caso I foi baseado em Vidal, Cheloni e Porto, 2007.

Estudo de caso II: John Dalton e a quantificação da teoria atômica

Introdução

A teoria atômica é parte importante da educação em química, e por isso tem sido alvo das preocupações dos educadores dessa área. Niaz (2001), por exemplo, apresentou algumas questões que eram objetos de debate nos primeiros anos da teoria atômica de Dalton. Partindo de questões históricas e epistemológicas, Niaz discutiu se o ensino das leis das proporções definidas e das proporções múltiplas é realmente necessário nos currículos atuais. Em outro artigo, Rodríguez e Niaz (2002) expuseram, em detalhes, a falta de uma abordagem histórica para o desenvolvimento das teorias atômicas nos livros didáticos de química. Brush (1978), por sua vez, argumentou que:

O ensino de química deveria ser revisto, para dar conta da concepção melhorada a respeito da natureza da química que emerge do estudo de sua história. Se de fato acreditamos que Lavoisier e Dalton foram grandes químicos, devemos ser capazes de conviver com um relato mais preciso a respeito de como eles fizeram suas descobertas... (Brush, 1978, p. 290.)

Neste estudo de caso, seguimos a sugestão de Brush, tomando o trabalho de Dalton como exemplo da complexidade do processo de desenvolvimento do conhecimento científico, e que pode ser discutida no contexto do ensino. Ou, como sugeriu Chalmers (1998): “explorar esta parte da história da ciência [*i.e.*, a história do atomismo] é especialmente instrutivo, se o objetivo for capturar aspectos peculiares da ciência, e como ela é diferente, por exemplo, da filosofia” (Chalmers, 1998, p. 82).

A proposição de uma teoria atômica quantitativa, realizada por Dalton no início do século XIX, influenciou profundamente o desenvolvimento posterior da química. O nome de Dalton é frequentemente lembrado em livros didáticos de química; entretanto, nem sempre se encontram descritos adequadamente os motivos que justificariam a importância de seu trabalho para a química moderna. Assim, este estudo de caso procura esclarecer alguns aspectos do processo de elaboração da teoria atômica de Dalton. Esse foi um longo processo, e não seria possível abordar aqui todos os detalhes e controvérsias envolvidos. Assim, este caso enfoca as primeiras teorias de Dalton e o surgimento do conceito de peso atômico relativo e sua determinação, até a publicação da primeira parte do livro *A New System of Chemical Philosophy* (1808). A escolha dessa abordagem pode ser justificada considerando-se que os pesos atômicos relativos foram a mais original contribuição de Dalton para a

química moderna. Após a apresentação do estudo de caso histórico, são apresentados alguns pontos que podem ser discutidos em contextos didáticos.

Os primeiros estudos de Dalton

John Dalton²² (1766-1844) nasceu em Eaglesville (Inglaterra) e foi educado como membro da Sociedade dos Amigos (grupo protestante surgido em meados do século XVII, cujos adeptos ficaram conhecidos como *quakers*²³). Aos doze anos começou a lecionar, quando ainda iniciava seus estudos de matemática com Elihu Robinson, um estudioso interessado em filosofia natural e meteorologia. Foi possivelmente nessa época que Dalton iniciou a leitura de livros voltados para a divulgação do newtonianismo, iniciando assim a construção dos seus conhecimentos científicos (Partington, 1962).

Dois anos mais tarde, Dalton mudou-se para Kendal, cidade na qual permaneceria por doze anos. Em Kendal, Dalton, além de ministrar aulas em uma escola *quaker*, apresentou conferências para um público interessado em ciências, e adquiriu um hábito que manteve pelo resto de sua vida: anotar de modo sistemático dados sobre fenômenos atmosféricos. Segundo Partington (1962), entre 1784 e 1794, Dalton também contribuiu com soluções para problemas matemáticos publicados no *Gentleman's Diary*, e com respostas científicas gerais para o *Ladie's Diary*, ambos periódicos destinados ao público leigo.

Em 1793, Dalton chegou a Manchester através da indicação de pessoas influentes de Kendal (dentre as quais se destacava um intelectual *quaker*, John Gough), passando a trabalhar como tutor de matemática e filosofia natural (Ferraz, 2001). No mesmo ano, Dalton lançou o seu primeiro livro, *Meteorological Observations and Essays*, o qual tratava de suas pesquisas sobre a atmosfera.

O corpuscularismo newtoniano

O interesse de Dalton pelos fenômenos atmosféricos o conduziu a uma série de questões correlatas. É importante ressaltar que, no final do século XVIII, a composição da

²² Dados sobre a vida e obra de Dalton podem ser encontrados em: Thackray, 1972; Partington, 1962; Lappert & Murrell, 2003.

²³ Os *quakers* são uma seita cristã originada, entre tantas outras, na Inglaterra do século XVII, em um período em que anseios de liberdade se manifestavam em diversos níveis. A reação contra a Igreja oficial encontrava apoio, por exemplo, na afirmação de interpretações próprias da Bíblia; outra manifestação desse pensamento oferecia a possibilidade de conceber a investigação dos segredos da Natureza como forma de conhecer as obras de Deus. Ao contrário de outras seitas radicais do período, o quakerismo sobreviveu, caracterizando-se como um grupo com hábitos próprios, cultuando o recolhimento (através do qual o indivíduo poderia entrar em contato com Deus) e a pureza moral – prática ativa do pacifismo, da solidariedade e da filantropia (Hill, 1987).

atmosfera (majoritariamente gás nitrogênio, gás oxigênio, gás carbônico e vapor de água – de acordo com a nomenclatura usada atualmente) já era conhecida. Entretanto, existiam divergências dentro da comunidade científica sobre se os fluidos gasosos estariam combinados quimicamente na atmosfera, ou se estariam simplesmente misturados. Além disso, considerando a atmosfera como uma mistura, não estava claro para os cientistas da época o porquê de os gases não estarem separados em camadas superpostas de acordo com a sua densidade.

Diante desse quadro, Dalton buscou aproximar-se do problema recorrendo a uma noção que lhe parecia mais adequada: o corpuscularismo newtoniano. No final do século XVIII e início do XIX, circulavam na Inglaterra muitos livros destinados à divulgação do newtonianismo para o público em geral, e foi através dessa literatura que Dalton teve seus primeiros contatos com as idéias do célebre filósofo natural inglês. Segundo Isaac Newton (1642 – 1727), a matéria seria constituída por diversos tipos de partículas organizadas hierarquicamente: as “partículas últimas” (*ultimate particles*) seriam as menores partículas da matéria, enquanto o conjunto dessas partículas menores formaria as “partículas de primeira composição” (*first composition particles*), as quais seriam as responsáveis pelas propriedades macroscópicas dos corpos (Figura 16). Esta visão hierárquica da matéria foi inspirada nos trabalhos de Robert Boyle (1627 – 1691), nos quais se combinam aspectos provenientes do atomismo antigo (segundo o qual a matéria seria formada por partículas indivisíveis – os átomos), bem como da teoria aristotélica dos *minima naturalia* (segundo a qual existiriam pequenas partes da matéria que conservariam as propriedades do todo), resultando em uma teoria corpuscular com características peculiares.

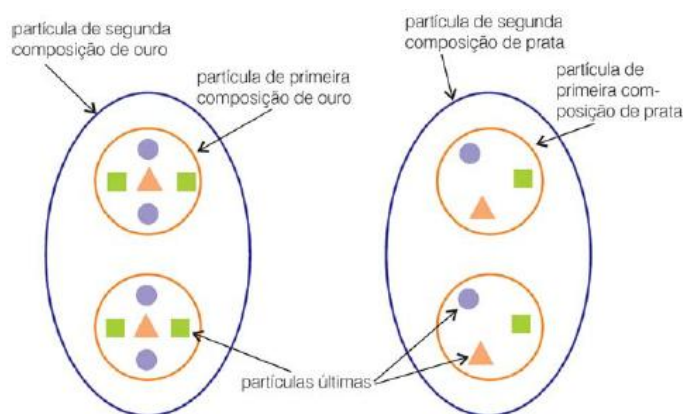


Figura 16. Estrutura dos corpúsculos de ouro e prata, segundo a concepção de Newton (Thackray, 1970).

Apoiado nas visões corpusculares de Boyle, Newton procurou relacionar suas “leis universais” para o movimento dos corpos com as interações interpartículas, com o intuito de explicar certos fenômenos, como o comportamento dos gases. Por exemplo, na 23ª. Proposição, Livro 2, de sua célebre obra *Principia*, Newton sugeria uma explicação para a lei de Boyle – de proporcionalidade entre a pressão e o volume do ar – recorrendo a partículas que se repeliriam de acordo com uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Entretanto, para Newton essas idéias ainda se encontravam em um estágio preliminar de hipóteses, havendo ainda muito a ser feito pelos filósofos da Natureza para que essas hipóteses pudessem ser comprovadas (Newton, 1848).

Imerso nessa tradição corpuscular inglesa, coube a Dalton relacioná-la com as novas idéias propostas pelos químicos no último quartel do século XVIII. Como foi esse processo de estabelecimento de conexões, inicialmente destinado a explicar fenômenos atmosféricos, é o que será abordado a seguir.

A primeira teoria das misturas gasosas e a lei das pressões parciais

Na época de Newton, se supunha, em geral, a existência de um único fluido gasoso, o ar comum, o qual era encarado com sendo um elemento, devido a sua homogeneidade. Entretanto, com os estudos realizados ao longo do século XVIII pelos chamados químicos pneumaticistas, a atmosfera passou a ser concebida como constituída por vários tipos de “ares” e, conseqüentemente, houve a necessidade da elaboração de novos modelos que dessem conta dessa diversidade (Thackray, 1970).

Conforme já mencionado, no começo do século XIX, Dalton estava entre os pensadores que buscavam compreender o fato de a atmosfera ser constituída por vários gases, de diferentes densidades, e ainda assim ser homogênea. A primeira explicação formulada por Dalton para essa questão foi “uma elegante variação do modelo newtoniano” (Fleming, 1974, p. 563), a partir da livre interpretação da Questão 31 do livro *Opticks*²⁴, e da 23ª. Proposição, Livro 2, dos *Principia*, ambos de Newton: cada gás se comportaria como um fluido elástico newtoniano, atuando como se os outros gases não estivessem presentes na mistura. Assim Dalton descreveu seu modelo: “Quando dois fluidos elásticos, denotados por A e B, são misturados, não existe repulsão mútua entre suas partículas; isto é, as partículas de A não

²⁴ “Parece-me provável que Deus, no início, formou a matéria em partículas *sólidas, maciças, duras, impenetráveis e móveis*, de *tamanhos e formatos* tais, e com tais outras *propriedades*... tão duras que nunca se desgastariam ou se quebrariam... As transformações das coisas corpóreas devem ser atribuídas somente às várias separações e novas associações e movimentos dessas partículas permanentes...” (Newton, 1730, pp. 375 – 376.)

repelem as partículas de B, como se repelem entre si” (Dalton, 1802). Esse enunciado corresponde ao que podemos chamar a “primeira teoria das misturas gasosas” proposta por Dalton. As características dessa teoria implicariam em algumas consequências, conforme observou a historiadora da ciência Márcia Ferraz:

A primeira consequência é que cada tipo de gás agiria como se fosse o único presente em um recipiente qualquer, contribuindo para a pressão total verificada em determinadas condições de temperatura (considerando-se a influência do calor nas misturas gasosas). Assim, a pressão total seria a soma das “contribuições” de cada gás. A segunda consequência levou-o a admitir que o número de partículas de cada gás presente em uma mistura é proporcional à sua pressão parcial (Ferraz, 2001, p. 79).

Dessa maneira, Dalton passou a explicar, com base em sua teoria das misturas gasosas, o fato de o aumento da quantidade de um dos componentes em uma mistura gasosa não surtir qualquer efeito sobre a pressão de outro componente. Essa observação ficou conhecida como lei de Dalton das pressões parciais.

A Figura 17, reproduzida por Thackray (1970), nos dá uma clara noção da concepção atomística de Dalton subjacente a sua lei das pressões parciais. Cada um dos gases que compõem uma atmosfera composta apresentaria uma pressão parcial idêntica àquela que apresentaria se estivesse em uma atmosfera simples (ou seja, caso não estivesse misturado a outros gases). A primeira teoria das misturas gasosas permitia explicar a maneira como os gases estariam dispostos em uma atmosfera composta. De acordo com esse modelo, átomos iguais não poderiam se encontrar próximos (se repeliriam), e átomos diferentes não surtiriam qualquer efeito uns sobre os outros. Ainda com relação à figura 2, podemos observar que volumes aparentemente iguais apresentam quantidades diferentes de partículas. Assim, o nitrogênio (“azotic gas”), gás majoritário na atmosfera terrestre, apresentaria maior quantidade de átomos em um determinado volume do que o gás carbônico (“carbonic acid gas”).

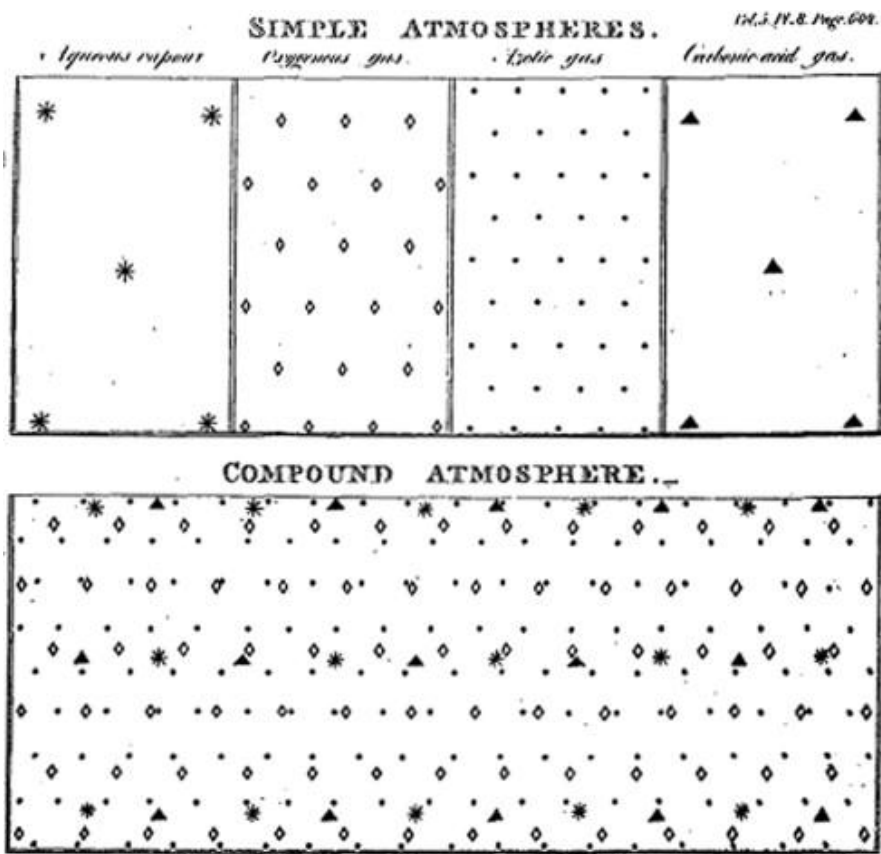


Figura 17. Representação de Dalton para a constituição atômica da atmosfera terrestre, de acordo com sua primeira teoria das misturas gasosas (Thackray, 1970). Na parte superior da figura, as “atmosfera simples” representadas são de, pela ordem: vapor de água, gás oxigênio, gás nitrogênio, e gás carbônico.

A primeira teoria das misturas gasosas enfrentou muitas críticas por parte dos pensadores da época: o próprio John Gough, ex-professor de Dalton em Kendal, criticou seus princípios como sendo aleatórios. Todavia, foi a partir da primeira teoria das misturas gasosas de Dalton que William Henry (1774-1836) compreendeu a relação entre a pressão exercida por um gás e sua solubilidade em um líquido (a chamada lei de Henry).

Da lei de Henry para a teoria atômica quantitativa

A Grã-Bretanha do final do século XVIII era um palco privilegiado para o debate acerca do comportamento dos gases, pois havia ali uma tradição que teve em Boyle e Stephen Hales (1677-1761) dois destacados pioneiros. Nesse cenário, devem ser mencionados os trabalhos dos chamados químicos pneumaticistas – Joseph Black (1728-1799), que foi professor de William Henry quando este estudou medicina, Joseph Priestley (1733-1804) e Henry Cavendish (1731-1810).

Nesse contexto, Henry teve contato com um grande número de trabalhos sobre gases. Ao longo de sua vida, Henry se dedicou principalmente à indústria química de sua família (a qual fabricava, entre outros produtos, a *magnesia alba*²⁵ e a “água artificial de Pymont”²⁶) e ao ensino da “nova química” utilizando o *Traité élémentaire de chimie* de Lavoisier (Ferraz, 2003).

Durante os anos de 1802 e 1803, Henry e Dalton estavam ocupados com experimentos sobre a solubilidade dos gases em água: enquanto o primeiro estava preocupado com a produção de água gaseificada, o segundo buscava investigar as solubilidades dos gases, tendo em mente a sua primeira teoria das misturas gasosas. O próprio Dalton escreveu sobre seus experimentos e especulações dessa época:

Anteriormente [à publicação da chamada “lei de Henry”, em 1802], eu estava engajado em uma investigação da quantidade de ácido carbônico²⁷ na atmosfera. Foi motivo de surpresa para mim que a água de cal pudesse indicar tão facilmente a presença de ácido carbônico no ar, enquanto que a água pura, exposta por qualquer extensão de tempo, não fornecesse nenhum traço daquele ácido. Eu acreditava que a extensão de tempo pudesse compensar a fraqueza de afinidade. Ao investigar o assunto, eu encontrei que a quantidade deste ácido, tomada pela água, seria maior ou menor proporcionalmente à sua maior ou menor densidade na mistura gasosa jazendo sobre a superfície, e portanto deixei de me surpreender com o fato de a água absorver uma porção tão imperceptível da atmosfera... (Dalton, 1964, p. 141.)

É possível que os experimentos de Dalton e Henry sobre a solubilidade dos gases em água tenham sido discutidos e encorajados por Thomas Percival (1740-1804). Uma razão para as pesquisas iniciais de Dalton e Henry destacarem o gás carbônico é o fato de este ser, até então, o único gás cuja solubilidade em água já havia sido estudada (Priestley, por exemplo, já havia mostrado como a água gaseificada efervescia em um recipiente com vácuo) (Ferraz, 2003). Para encontrar os valores de solubilidade dos gases em água, Henry utilizou o equipamento ilustrado na Figura 18. O tubo graduado (A) admite uma determinada quantidade de água e do gás a ser analisado. Com as válvulas (a) e (b) fechadas, o tubo (A) é agitado de forma que o nível do mercúrio presente em (B) sofra uma diminuição (o mercúrio se desloca em direção a C). Dessa maneira, a variação do nível da coluna de mercúrio indica a respectiva diminuição da pressão interna do gás originada pela sua solubilização em água.

²⁵ *Magnesia alba* era o termo usado para designar um antiácido constituído majoritariamente pelo que nós conhecemos hoje como carbonato de magnésio.

²⁶ Água artificial de Pymont era uma água mineral gaseificada artificialmente.

²⁷ Ácido carbônico corresponde ao chamado gás carbônico, hoje também denominado dióxido de carbono.

Assim, quanto maior a solubilidade de um determinado gás em água, mais a sua pressão interna vai diminuir e maior será a variação do nível da coluna de mercúrio (Farrar, Farrar & Scott, 1974).

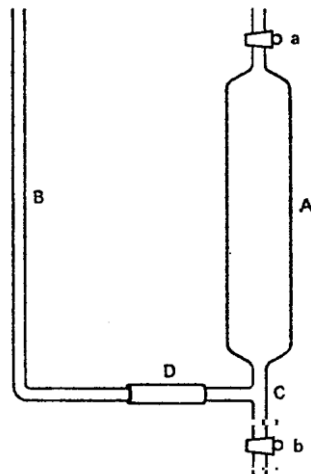


Figura 18. Aparelhagem utilizada por Henry para medir a solubilidade dos gases em água (Farrar *et alii*, 1974).

Como decorrência da medição dos valores de solubilidade do gás carbônico em água, Henry constatou a grande variação das quantidades desse gás absorvidas pela água, em condições nas quais a pressão e a temperatura eram constantes. Contudo, a resolução desse problema somente foi encontrada por Dalton:

Eu desconhecia as causas dessas variações, até que meu amigo, Mr. Dalton, sugeriu que essas variações provavelmente dependeriam da quantidade variável de resíduos de gás não dissolvidos; e ao repetir os experimentos, com diferentes proporções entre o gás e a água, esta sugestão foi completamente confirmada (Henry, 1803).

Caso o gás carbônico utilizado por Henry fosse suficientemente puro, o efeito das variações não teria existido; mas, com as técnicas utilizadas por ele, todos os gases deviam conter certa porcentagem de ar (as técnicas disponíveis naquele período não permitiam a preparação de gases muito puros). Conseqüentemente, a verdadeira solubilidade do gás carbônico somente pôde ser determinada pela análise dos gases misturados, e pela aplicação da lei das pressões parciais de Dalton. Henry interpretou que a solubilidade dos gases em água seria um fenômeno estritamente mecânico:

A teoria que Mr. Dalton me sugeriu a este respeito, e que parece ser confirmada por meus experimentos, é que a absorção de gases pela água é puramente um efeito mecânico, e que sua quantidade é exatamente proporcional à densidade do gás,

considerado separadamente de qualquer outro gás com o qual pudesse estar acidentalmente misturado (Henry, 1803).

Logo, Henry, apesar de inicialmente contrário, afinal aceitou a primeira teoria das misturas gasosas, conforme manifestou Dalton:

O Dr. Henry se convenceu de que não havia sistemas de fluidos elásticos que dessem uma solução tão simples, fácil e compreensível como a que eu adotei, a saber: que cada gás, em qualquer mistura, exerce uma pressão distinta, a qual permanece a mesma se os demais gases forem retirados (Dalton, 1964, p. 141).

Dessa forma, o caminho encontrado por Henry para explicar por que o comportamento de cada componente da mistura gasosa é governado somente por sua própria pressão, independente da identidade e da quantidade de outros componentes, foi assumir a validade da primeira teoria das misturas gasosas. Estendendo a sua pesquisa para cerca de cinquenta outros gases (óxido nitroso, oxigênio, nitrogênio, gás sulfídrico, etc.), Henry concluiu que, em uma dada temperatura, a massa de gás absorvido pela água é diretamente proporcional a sua pressão parcial – enunciando aquela que, mais tarde, ficou conhecida como “lei de Henry”.

Segundo Nash (1956), Dalton rapidamente reconheceu a importância do trabalho de Henry, relacionando-o com a sua primeira teoria das misturas gasosas e com um modelo mecânico para a dissolução de um gás em água. A analogia de Dalton com um modelo mecânico fica bem clara no fragmento abaixo, no qual ele recorreu a uma comparação entre uma partícula de gás, exercendo pressão sobre a superfície da água, com uma bala de canhão, colocada no topo de uma pilha piramidal desses projéteis:

Assim como uma bala distribui sua pressão igualmente entre todos os indivíduos que formam a camada mais baixa da pilha, também uma partícula de gás distribui sua pressão igualmente sobre todas as sucessivas camadas horizontais de partículas de água de cima para baixo, até alcançar a esfera de influência de uma outra partícula de gás (Dalton, 1805).

Em uma comunicação, lida em outubro de 1803, mas que somente viria a ser publicado em 1805, denominada “On the Absorption of Gases by Water and Other Liquids”, Dalton expôs seu trabalho sobre a solubilidade dos gases, procurando classificá-los de acordo com as suas frações de solubilidade (Tabela 16), concebidas a partir de uma engenhosa relação matemática:

Se uma quantidade de água, livre de ar, for agitada em presença de qualquer tipo de gás que não se una quimicamente com a água, ela absorverá uma massa de gás igual à sua própria, ou então uma parte dela, igual a uma das seguintes frações, a saber: $1/8$, $1/27$, $1/64$, $1/125$, etc. – sendo estas frações os cubos dos recíprocos dos

números naturais 1, 2, 3, etc., ou seja, $1/1$, $1/2^3$, $1/3^3$, $1/4^3$, etc. O mesmo gás será sempre absorvido de acordo com a mesma proporção, como se mostra na tabela a seguir (Dalton, 1805).

Tabela 16. Frações de diferentes gases, dissolvidos em uma dada quantidade de água, em condições de pressão suficientes para a impregnação (adaptado de Dalton, 1805).

Quantidade absorvida, em relação a uma quantidade de água adotada como unitária	(nomes atuais, correspondentes aos nomes usados por Dalton)
$1/1^3 = 1$	gás carbônico, gás sulfídrico, óxido nitroso
$1/2^3 = 1/8$	etileno
$1/3^3 = 1/27$	gás oxigênio, monóxido de nitrogênio, gás metano
$1/4^3 = 1/64$	gás nitrogênio, gás hidrogênio, monóxido de carbono
$1/5^3 = 1/125$	nenhum gás descoberto

Para explicar os diferentes valores de solubilidade, Dalton especulou se as diferentes massas dos átomos não seriam a causa para essas variações:

A maior dificuldade para contemplar a hipótese mecânica provém do fato de diferentes gases observarem diferentes leis. Por que a água não admite a mesma quantidade de qualquer tipo de gás? Esta questão eu tenho considerado devidamente, e embora ainda não seja capaz de me satisfazer completamente, estou quase persuadido de que essa circunstância depende do peso e do número das partículas últimas dos diversos gases: aqueles cujas partículas são mais leves e simples são menos absorvíveis, e as outras são mais, conforme aumentam em peso e complexidade. [*Nota de rodapé*: Experiência subsequente mostra ser essa conjectura pouco provável.] Uma investigação acerca dos pesos relativos das partículas últimas dos corpos é um assunto, até onde sei, inteiramente novo: tenho ultimamente prosseguido nessa investigação com notável sucesso. O princípio não pode ser apresentado neste artigo, mas acrescentarei apenas os resultados, do modo como eles parecem ser determinados por meus experimentos (Dalton, 1805).

Assim, logo após a citação acima, a tabela de massas atômicas relativas foi apresentada na forma impressa²⁸ pela primeira vez. É importante observar que Dalton atribuiu

²⁸ Os primeiros valores para massas atômicas relativas podem ser encontrados, em um caderno de anotações de Dalton, datados de setembro de 1803.

às massas atômicas a causa das diferentes solubilidades dos gases, mas, em uma nota de rodapé ao próprio texto, admitiu ter mudado de opinião, considerando ser essa uma “conjectura pouco provável” à luz de outros resultados experimentais obtidos posteriormente.

Segundo Nash (1956), a investigação sobre a complexidade das partículas gasosas teria sido o ponto de partida para a construção de uma teoria atômica quantitativa. Entretanto, apesar da importância desse episódio, alguns detalhes não podem passar despercebidos e devem ser considerados para uma adequada avaliação desse processo. Em primeiro lugar, é preciso ter em mente que o artigo de Dalton foi lido perante a *Literary and Philosophical Society* de Manchester em 1803, mas publicado somente em 1805. O texto publicado traz claras evidências de haver sido modificado em relação ao originalmente lido. Uma das evidências mais eloquentes é o fato de Dalton propor, no texto, a hipótese de que as solubilidades dos gases dependeriam das massas das partículas, e em uma nota de rodapé comentar que essa hipótese seria pouco provável. Dalton não teria a menor dificuldade em fazer as modificações: ele próprio era o editor das *Memórias* da Sociedade e, portanto, podia escolher quais artigos, e quando, seriam publicados.

A determinação das massas atômicas relativas: um problema a ser discutido

Para a determinação das massas atômicas relativas era necessário que Dalton desenvolvesse um modelo que explicasse as combinações químicas, e que propiciasse a previsão de fórmulas para os compostos. Elaborando a partir de sua primeira teoria das misturas gasosas, Dalton procurou explicar as combinações químicas exemplificando com o caso de uma mistura de oxigênio e hidrogênio. Haveria repulsão entre os átomos de oxigênio, e também repulsão entre os átomos de hidrogênio, o que resultaria em uma situação de equilíbrio nessa mistura gasosa. Caso algum evento rompesse esse equilíbrio, haveria uma transformação:

Calor, ou algum outro poder, previne a união dos dois elementos, até que – por uma faísca elétrica, ou algum outro estímulo – o equilíbrio seja perturbado. Então, o poder de afinidade é capaz de superar os obstáculos à sua eficiência, e resulta uma união química das partículas elementares de hidrogênio e oxigênio (Dalton, 1811).

Dalton não forneceu maiores detalhes a respeito desse “poder de afinidade”, que seria a chave para a compreensão da causa das combinações químicas. Dalton tentou explicar como os átomos se combinavam uns com os outros, ainda que as causas permanecessem obscuras.

No exemplo acima mencionado, consideremos que, antes da combinação, havia mais átomos de oxigênio do que de hidrogênio. Segue-se que, após a combinação entre oxigênio e hidrogênio, teríamos uma mistura formada por vapor de água e oxigênio. Caso fosse possível dar prosseguimento à transformação, os “átomos de água”²⁹ e de oxigênio poderiam agora se agrupar em pares. No modelo proposto por Dalton, as interações aconteceriam preferencialmente na proporção de um para um, ou seja, obedecendo à chamada “regra da máxima simplicidade”. Seguindo este raciocínio, passaríamos a ter vários tipos de combinações possíveis, o que foi denominado por Dalton “lei das proporções múltiplas”:

1 átomo de A + 1 átomo de B = 1 átomo de C, binário.

1 átomo de A + 2 átomos de B = 1 átomo de D, ternário.

2 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de E, ternário.

1 átomo de A + 3 átomos de B = 1 átomo de F, quaternário.

3 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de G, quaternário.

etc, etc (...)

1º Quando somente uma combinação de dois corpos pode ser obtida, deve-se presumir que seja binária, a menos que alguma causa aponte para o contrário.

2º Quando duas combinações são observadas, deve-se presumir que sejam uma binária e uma ternária.

3º Quando três combinações são obtidas, podemos esperar que uma seja binária e as outras duas sejam ternárias.

4º Quando quatro combinações são observadas, devemos esperar uma binária, duas ternárias e uma quaternária, etc.

5º Um composto binário deve ser sempre especificamente mais pesado do que a simples mistura de seus dois ingredientes.

6º Um composto ternário deve ser especificamente mais pesado do que a mistura de um binário e um simples, os quais, se combinados, o constituem.

7º As regras e observações acima igualmente se aplicam quando dois corpos, como C e D, D e E, etc., são combinados (Dalton, 1964, pp. 163-167).

A quantidade de átomos combinados implicaria em vários tipos de geometria, nas quais os átomos estariam dispostos de modo a minimizar as forças repulsivas:

Quando um elemento A tem afinidade por outro B, não vejo nenhuma razão mecânica pela qual ele não deva tomar tantos átomos de B quantos lhe são

²⁹ Para Dalton, as partículas formadas por mais de um átomo eram chamadas de “átomos compostos”. Inclui-se neste caso a água.

apresentados, e com os quais possa entrar em contato... – exceto que a repulsão dos átomos de B entre si pode superar a atração de um átomo de A... Esta repulsão se inicia com 2 átomos de B para 1 de A, em cujo caso os 2 átomos de B estão diametralmente opostos; a repulsão aumenta com 3 átomos de B para 1 de A, em cujo caso os átomos de B estarão afastados por apenas 120°; com 4 átomos de B a repulsão é ainda maior, pois a distância é de apenas 90°... (Dalton, 1811.)

Dessa maneira, um “átomo composto”, formado por quatro átomos, apresentaria uma estrutura trigonal plana, com três átomos iguais dispostos a 120° em torno de um átomo central; e um “átomo composto” formado por cinco átomos teria uma estrutura tetragonal plana (quatro átomos iguais dispostos a 90° em torno de um átomo central). Observa-se, assim, a existência de uma justificativa teórica (que, segundo alguns historiadores, teria sido formulada em um período posterior) para a adoção da regra da máxima simplicidade.

A data em que a lei das proporções múltiplas foi proposta é motivo de controvérsia entre os historiadores da ciência (Ferraz, 2004). Assim, não se discutirá aqui se a formulação dessa lei ocorreu antes de 1803, ou após esse ano, pois isso necessitaria de um estudo mais aprofundado, que fugiria ao escopo do presente estudo de caso. De qualquer forma, parece adequado afirmar que o modelo de combinações químicas de Dalton se constituiu em uma elaboração a partir da primeira teoria das misturas gasosas.

Além de um mecanismo para a proposição das fórmulas dos “átomos compostos”, resultantes das combinações químicas, a elaboração da primeira tabela de massas atômicas relativas exigiu também a utilização das proporções em massa envolvidas nas combinações. Os primeiros valores utilizados já eram conhecidos não apenas por Dalton, mas pela comunidade química da época, pois estavam disponíveis em publicações de outros autores. Assim, com base nas análises de Lavoisier para a água (85% de oxigênio e 15% de hidrogênio em massa), dos experimentos desse mesmo químico que envolviam a formação de óxidos de carbono, da análise de Austin para a amônia (80% de nitrogênio e 20% de hidrogênio em massa) e da análise de Chenevix para o que hoje chamamos de anidrido sulfúrico (61,2% de enxofre e 38,8% de oxigênio em massa), Dalton dispunha de uma série de valores que indicavam as proporções das substâncias elementares envolvidas nas reações de formação de cada um desses compostos (Nash, 1956). De posse desses valores, Dalton estabeleceu entre eles e as massas atômicas relativas (as quais ele anteriormente especulara ser o motivo das diferentes solubilidades dos gases em água) uma relação intermediada pela regra da máxima da simplicidade. Desse modo, as sucessivas combinações entre átomos, na proporção de 1:1,

resultariam em fórmulas químicas que traduziriam as proporções em massa envolvidas nessas transformações observadas macroscopicamente.

Analisando, por exemplo, as proporções em massa determinadas por Lavoisier para a água, se pode constatar que a água apresentaria uma proporção em massa de 15 g de hidrogênio para 85 g de oxigênio, ou seja, 1 g de hidrogênio para 5,66 g de oxigênio (valores determinados na época, e que constam na primeira tabela de Dalton). Pela regra da máxima simplicidade, um átomo de oxigênio se combinaria com um átomo de hidrogênio, formando um “átomo composto” de água. Como o hidrogênio, nas reações em que estava presente, participava sempre com uma proporção em massa menor do que os outros elementos, Dalton o adotou como padrão, conferindo ao hidrogênio o valor de massa atômica igual a 1. Dessa forma, um átomo de oxigênio deveria ter massa atômica relativa igual a 5,66 (5,66 vezes maior que o padrão). Seguindo o mesmo raciocínio, como a proporção em massa da amônia (determinada por Austin) seria de 20 g de hidrogênio para 80 g de nitrogênio, ou seja, 1 g de hidrogênio para 4 g de nitrogênio, este último possuiria massa atômica relativa igual a 4. A partir dessas massas atômicas relativas (principalmente a do oxigênio, o qual se encontra presente em um número maior de compostos) outras massas atômicas relativas foram calculadas. Caso existissem outras substâncias constituídas por átomos de oxigênio e hidrogênio, ou por átomos de nitrogênio e hidrogênio, além da água e da amônia, respectivamente, estas deveriam obedecer à lei das proporções múltiplas (Figura 19). Dessa forma, suas fórmulas, pela simbologia de Dalton, seriam constituídas por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (ou nitrogênio) ou por dois átomos de oxigênio (ou nitrogênio) e um de hidrogênio (respectivamente).

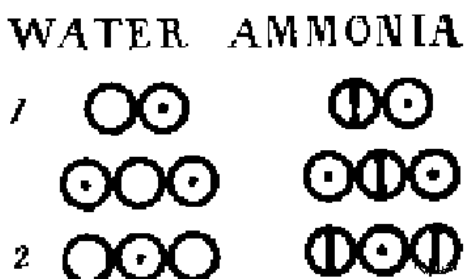


Figura 19. Representação dos “átomos compostos” de água, amônia e de outras partículas que poderiam ser formadas, obedecendo à lei das proporções múltiplas (Fonte: <http://www.ssplprints.com/image/99613/dalton-john-daltons-diagram-of-the-atomic-formulae-of-water-and-ammonia-1806-1807>. Acessado em 20 de agosto de 2012).

Com a determinação das massas atômicas relativas do nitrogênio e do oxigênio, Dalton conseguiu explicar as várias proporções em massa envolvidas na síntese dos óxidos de nitrogênio (em setembro de 1803, Dalton teria repetido o experimento de Cavendish da combinação de nitrogênio e oxigênio sobre um álcali, mediante uma faísca elétrica). Analisando a tabela 17, observamos que o gás nitroso seria formado, segundo Dalton, quando 57,9 gramas de oxigênio reagissem com 42,1 gramas de nitrogênio. Como vimos anteriormente, considerando-se a massa atômica do hidrogênio como sendo igual a 1, a massa atômica relativa do oxigênio seria igual a 5,66 e a do nitrogênio igual a 4. Adotando-se esses valores, a proporção envolvida para a síntese do gás nitroso seria de (57,9 / 5,66) de oxigênio para (42,1 / 4) de nitrogênio – ou seja, aproximadamente 1:1. Logo, este composto seria formado por um átomo de nitrogênio e um de oxigênio, obedecendo, portanto, à regra da máxima simplicidade. Por raciocínio análogo, seria possível verificar que o óxido nitroso seria formado por dois átomos de nitrogênio e por um átomo de oxigênio, e que o *gás ácido nítrico*³⁰ seria formado por um átomo de nitrogênio e dois átomos de oxigênio. Desse modo, a existência de diferentes óxidos de nitrogênio pode ser considerada como exemplo prático da lei das proporções múltiplas.

Tabela 17. Valores determinados por Dalton para as proporções elementares em massa dos óxidos de nitrogênio.

	nitrogênio (% em massa)	oxigênio (% em massa)
<i>gás nitroso</i>	42,1	57,9
<i>óxido nitroso</i>	62	38
<i>ácido nítrico</i>	26,7	73,3

Em 1804, Dalton percebeu que hidrocarbonetos também obedeceriam à lei das proporções múltiplas: o *gás hidrogênio carburado* – atualmente chamado metano – seria formado por um átomo de carbono e dois de hidrogênio; e o *gás olefiante* – atual etileno – seria formado por um átomo de carbono e um de hidrogênio. Em 1808, William Hyde Wollaston (1766 – 1828) também declarou que muitos dos resultados de suas análises de sais, obtidos de reações de neutralização, poderiam ser explicados por meio da lei das proporções múltiplas formulada por Dalton.

Dalton também estava interessado em elaborar aspectos de sua teoria que estavam sendo objeto de críticas por outros químicos. Em sua primeira teoria das misturas gasosas, Dalton afirmou que átomos iguais se repeliriam, mas ele não esclareceu quais forças estariam

³⁰ Neste caso, Dalton chama de *gás ácido nítrico* aquilo que hoje se denomina dióxido de nitrogênio.

envolvidas nessas repulsões. No limite, seria preciso admitir que existiriam tantas forças repulsivas quantos fossem os diferentes tipos de átomos – o que seria uma óbvia fraqueza da teoria. Além disso, Dalton tinha problemas para explicar como os átomos interagem nas transformações químicas. O principal problema estava relacionado aos conceitos de mistura e combinação química, que eram objeto de um debate contemporâneo entre Claude L. Berthollet (1748 – 1822) e Joseph L. Proust (1754 – 1826). Nesse debate, Dalton ficou ao lado de Proust, pois a ideia de composição definida estava de acordo com a concepção de que um número definido de átomos estaria envolvido na constituição de um composto.

Ao entrar em contato com trabalhos sobre transformações químicas, Dalton foi aos poucos incorporando, em sua teoria, idéias que até então não a integravam – tais como as idéias sobre afinidade química e também o calórico, as quais estavam presentes nos trabalhos de Lavoisier, por exemplo. Cada átomo, fosse ele “simples” ou “composto”, possuiria uma determinada “atmosfera”, ou invólucro, de calórico à sua volta (Figura 20). Assim, nesta nova concepção de Dalton, os átomos passaram a ter diferentes tamanhos: quanto maior seu calor específico (o que significaria que o átomo seria capaz de reter maior quantidade de calórico a sua volta), maior o átomo.

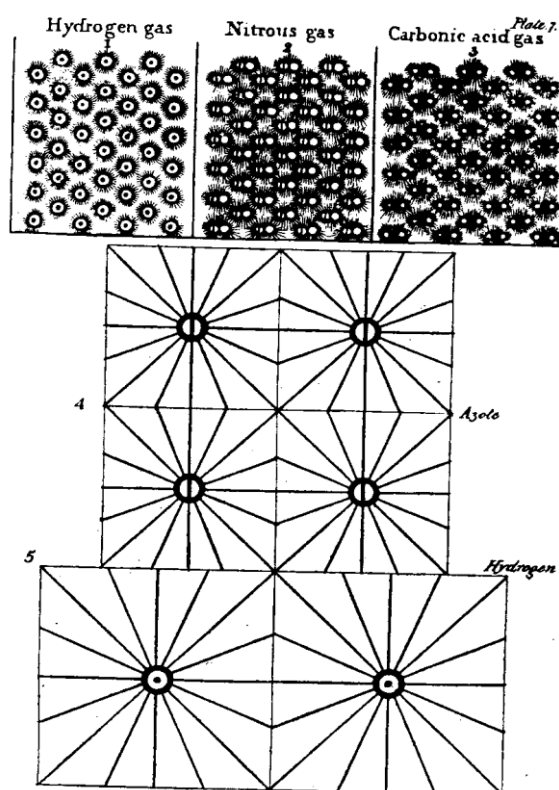


Figura 20. Esquemas representativos da repulsão entre as “atmosferas” de calor que circundariam cada átomo constituinte dos gases (Partington, 1962).

Essas modificações no modelo atômico implicaram na segunda teoria das misturas gasosas, a qual foi elaborada ao redor de 1804 ou 1805. Essa segunda teoria conduziu ao estabelecimento de relações entre as “atmosferas” de calor dos átomos e suas massas atômicas:

Os calores específicos, de *pesos* iguais de quaisquer dois fluidos elásticos, são inversamente proporcionais aos pesos de seus átomos ou moléculas... Os calores específicos, de iguais *quantidades* de fluidos elásticos, são diretamente proporcionais a suas gravidades específicas, e inversamente proporcionais aos pesos de seus átomos (Dalton, 1964, p. 58).

A proposição desse modelo, que previa diferentes tamanhos para as partículas, em função de suas diferentes “atmosferas” de calórico, resultou em algumas discrepâncias com resultados experimentais. Conforme o leitor contemporâneo já terá percebido, esse aspecto do modelo de Dalton – ao contrário das massas atômicas relativas – não teve influência significativa sobre o desenvolvimento posterior da química, e acabou caindo no esquecimento.

O primeiro relato publicado, explicando como Dalton determinou os pesos atômicos relativos, foi em um livro de Thomas Thomson, de 1807. O livro de Dalton, intitulado *A New System of Chemical Philosophy*, apareceu no ano seguinte. Embora a teoria tenha sido criticada por alguns, também recebeu o apoio de autores como Thomson, Wollaston, e outros. Há que se notar que Dalton rejeitou as observações de J. L. Gay-Lussac (1778 – 1850) a respeito dos volumes de gases envolvidos em combinações químicas. Gay-Lussac mostrou, em 1809, que os volumes de gases envolvidos em transformações químicas (desde que medidos nas mesmas condições de pressão e temperatura) obedecem a relações de números inteiros e pequenos (por exemplo: 1 volume de gás nitrogênio reage completamente com 1 volume de gás oxigênio para formar 2 volumes de gás nitroso). À primeira vista, tais resultados poderiam parecer favoráveis à teoria atômica de Dalton, caso se admitisse que volumes iguais de gases diferentes contêm igual número de átomos. Dalton, entretanto, não poderia admitir tal hipótese, pois ela não era consistente com alguns aspectos de sua teoria. No exemplo mencionado, não seria possível explicar porque a proporção era de 1 nitrogênio : 1 oxigênio : 2 gás nitroso, caso se admitisse, como Dalton, que as partículas eram, respectivamente,



Havia outros problemas, relacionados aos tamanhos dos átomos dos diferentes elementos, os quais não serão discutidos aqui (vide Conant, 1957, vol. 1, pp. 250-275). Muitos químicos, ao

longo de todo o século XIX, preferiram trabalhar com quantidades mensuráveis de “pesos equivalentes” ou “volumes equivalentes” – sem recorrer ao conceito teórico de átomo (Rocke, 1984; Niaz, 2001, pp. 246-247). A teoria atômica haveria de permanecer sendo objeto de debate por décadas depois de Dalton.

A difícil reconstituição das origens das ideias de Dalton

Diversos são os fatores que dificultam a reconstituição do caminho percorrido por Dalton para a construção de sua teoria atômica quantitativa, tais como: o distanciamento entre as datas de leitura (1803) e publicação (1805) de seu artigo que contém a primeira tabela de massas atômicas relativas; a destruição de cerca de 75% dos arquivos de Dalton então depositados na Literary & Philosophical Society de Manchester, durante a Segunda Guerra Mundial; e a multiplicidade de relatos, fornecidos pelo próprio Dalton e por seus contemporâneos, para a origem de sua teoria atômica. Tais dificuldades foram ilustradas em artigo de Rocke (2005), que enumerou, de maneira esquemática, seis possibilidades para a origem da teoria atômica. A primeira seria sua elaboração *a priori*, a partir da peculiar interpretação dada por Dalton a idéias de Newton sobre partículas. Além dessa possibilidade, haveria cinco outras: duas indutivas e três dedutivas. Assim, Dalton teria induzido a teoria a partir das proporções múltiplas observadas na composição dos hidrocarbonetos; ou a teria induzido a partir das proporções múltiplas observadas nos óxidos de nitrogênio. Se o caminho foi dedutivo, poderia ter sido a partir do trabalho de Jeremias Richter (1762 – 1807) com as massas equivalentes³¹; ou a partir da primeira teoria das misturas gasosas; ou, finalmente, a partir da segunda teoria das misturas gasosas. Rocke observou que cada uma dessas possibilidades pode ser derivada de relatos do próprio Dalton, embora não seja possível reduzi-las a uma única. Considerando isso, Rocke argumentou que Dalton, desde o início de sua carreira científica, pensava em termos de átomos. Ao se debruçar sobre o problema físico da solubilidade dos gases (em 1803), Dalton simultaneamente teve acesso a dados sobre transformações químicas, e começou a fazer experimentos químicos cujos resultados confirmavam sua hipótese atômica. Assim, de acordo com Rocke:

supondo que as especulações atomísticas de Dalton eram extraordinariamente vívidas e reais para ele, isso nos ajudaria a explicar, em parte, a multiplicidade das histórias sobre a origem. Quando ele começou a olhar *quimicamente*, em vez de

³¹ Richter reconheceu relações matemáticas entre as quantidades de substâncias que reagem umas com as outras, através de uma série de estudos de neutralizações ácido-base. Não há consenso, entre os historiadores da ciência, se Dalton teve ou não acesso às idéias de Richter antes de 1803.

fisicamente,... ele encontrou evidência para os átomos em todos os projetos a que se dedicou. Para Dalton, tudo parecia confirmar uma idéia em cujo germe ele acreditara por tanto tempo; como consequência, ele teve problemas em arranjar sua própria filiação de idéias na ordem cronológica correta... Essa ordem pode ser diferente em diferentes relatos, dado que tudo estava tão fortemente conectado (Rocke, 2005, p. 151).

Rocke, dessa maneira, defendeu que houve uma simultaneidade de fatores, teóricos e experimentais, no momento da gênese da teoria atômica quantitativa.

O estudo de caso aqui apresentado mostra como Dalton, a partir do corpuscularismo newtoniano, conseguiu construir uma teoria atômica quantitativa utilizando dados provenientes de estudos sobre transformações químicas. Esse processo de elaboração não foi linear, mas repleto de complexidade. É justamente em função dessa complexidade que destacamos a importância de os professores de química conhecerem com alguma profundidade esse episódio – tanto para refletirem sobre suas concepções acerca da ciência, quanto para repensarem a abordagem didática dos conceitos envolvidos.

Algumas considerações acerca do caso de Dalton e a quantificação dos átomos

Este estudo de caso se constitui em um bom exemplo de como o conhecimento científico foi construído no passado. Além do interesse na própria história da ciência, o estudo de caso oferece a oportunidade para que os educadores em química considerem alguns pontos importantes. Os professores de ciências devem estar cientes da riqueza de possibilidades para discussão que um estudo de caso oferece e, nesse sentido, devem ser preparados para discutir com seus alunos. Sugerimos aqui alguns pontos que podem ser considerados na preparação de aulas com abordagem histórica.

O caso de Dalton revela diferentes aspectos e dimensões do empreendimento científico: o processo intelectual de construção de conceitos científicos, a natureza do conhecimento científico, e até mesmo aspectos sociológicos da ciência.

Para compreender por que e como Dalton propôs sua teoria atômica, é preciso considerar o contexto de seu trabalho. Dalton foi fortemente influenciado pelo newtonianismo do século XVIII, e lidou com as questões científicas do seu tempo, tais como a composição da atmosfera e a diferença entre combinação química e mistura “mecânica”, em termos newtonianos. A primeira teoria das misturas gasosas de Dalton era uma engenhosa elaboração sobre o corpuscularismo newtoniano – um paradigma sobre o qual Dalton trabalhou durante anos. Esta primeira teoria foi baseada em uma peculiar – e, estritamente falando, incorreta –

interpretação de dois pontos dos trabalhos de Newton (Rocke, 2005)³². Dalton partiu de preocupações meteorológicas, propôs um modelo para o comportamento dos gases, e essa linha de investigação finalmente o conduziu à quantificação dos átomos.

Seguindo-se o estudo de caso, pode-se observar que os trabalhos de Dalton constituem um todo coerente. Duas partes do trabalho de Dalton são, em geral, estudadas separadamente nos cursos de química: a lei das pressões parciais, como parte do estudo dos gases, e a teoria atômica, como parte do desenvolvimento das ideias sobre a estrutura da matéria. Entretanto, havia uma forte conexão entre essas ideias. Dalton chegou à lei das pressões parciais enquanto estudava a composição da atmosfera, e tentava explicar por que os diferentes gases se misturam completamente e não se separam em camadas. Ele observou que o vapor de água podia se misturar com o ar em quaisquer proporções, chegou à lei das pressões parciais, e concluiu que um modelo mecânico de inspiração newtoniana poderia explicar essas observações. Tal modelo não escapou das críticas de seus contemporâneos, e Dalton sabia que ele não estava completo. Dalton continuou a elaborar sobre o modelo, investigando suas consequências e se ele poderia explicar outras observações.

Dalton considerou que, se o modelo mecânico expresso por sua primeira teoria das misturas gasosas podia explicar a mistura de vapor de água no ar, ele também poderia explicar a mistura de diferentes gases na água – o que Dalton concebia como a situação inversa em relação à anterior. Entretanto, ele observou que não se pode dissolver sempre a mesma quantidade de gases diferentes em uma dada quantidade de água, isto é, cada gás tem a sua própria solubilidade. Baseado somente na repulsão entre átomos iguais, Dalton não era capaz de explicar essas diferenças. Nesse momento, ele provavelmente vislumbrou o que seria a primeira aplicação de sua teoria atômica quantitativa: talvez as diferentes solubilidades fossem devidas a diferentes pesos atômicos. Dalton rapidamente percebeu que esta hipótese estava errada, mas ele também percebeu que a determinação dos pesos atômicos podia ter consequências importantes, e prosseguiu nessa linha de investigação.

Assim, abordando-se o desenvolvimento das ideias de Dalton por meio de um estudo de caso, pode-se observar que dois aspectos de seu trabalho, que em geral são estudados separadamente – a lei das pressões parciais, e a teoria atômica quantitativa – eram, de fato,

³² De acordo com Rocke (2005), Dalton considerou que Newton “havia demonstrado claramente” que “um fluido elástico é constituído por pequenas partículas de átomos de matéria, que se repelem mutuamente” – quando Newton, de fato, apenas havia considerado isso como uma hipótese que poderia explicar a lei de Boyle. Além disso, Dalton considerou que, na Questão 31 de *Opticks*, Newton admitiu a existência de um número considerável de princípios elementares – os quais Dalton associou com a noção de elementos químicos de Lavoisier.

partes de um conjunto coerente de ideias. Cada um desses tópicos pode ser posteriormente aprofundado pelo professor, dependendo de seus objetivos de ensino. De qualquer modo, ao explicitar as conexões entre eles, por meio da abordagem histórica, o professor pode auxiliar os estudantes a desenvolverem uma ideia acerca da consistência interna da ciência, e mesmo a estabelecer conexões significativas entre conceitos.

Este estudo de caso também pode ajudar a introduzir outros aspectos da natureza da ciência. Dalton inicialmente estava interessado em assuntos meteorológicos e, em particular, estava tentando resolver um problema, relacionado à composição da atmosfera. Muitas vezes, o conhecimento científico não é criado como um fim em si mesmo, como muitos estudantes pensam, mas emerge da busca pela solução de um problema. Neste caso, o assunto original – meteorologia – pode parecer conceitualmente muito distante do conceito de pesos atômicos para os estudantes de hoje, o que ilustra que o desenvolvimento de ideias científicas não é um processo linear, mas às vezes percorre trajetórias inesperadas. Como foi mostrado acima, Dalton publicou uma tabela com pesos atômicos relativos, pela primeira vez, em um artigo sobre a solubilidade de gases em água, tentando explicar as diferenças de solubilidade de diferentes gases. Contudo, esta hipótese logo teve que ser abandonada. Assim, observa-se que um conceito que se mostra inadequado para explicar um fenômeno específico pode continuar sendo elaborado, e aplicado em contextos muito diferentes, e inicialmente inesperados. Outra evidência do caráter dinâmico e complexo da ciência é que a chamada “regra da máxima simplicidade”, que fora essencial no desenvolvimento inicial da teoria de Dalton, foi posteriormente abandonada. A teoria continuou a ser elaborada, baseada, porém, em diferentes conceitos que foram desenvolvidos subsequentemente. Além disso, a teoria atômica de Dalton não foi universalmente aceita de imediato. Se os estudantes tiverem acesso às críticas que uma dada teoria científica sofreu ao ser proposta, eles terão melhores condições de desenvolver a ideia de que as teorias científicas não são capazes de resolver todos os problemas relacionados de uma só vez, mas que vão sendo elaboradas ao longo do tempo.

Os estudantes também podem enriquecer sua visão de ciência com alguns aspectos sociológicos. A ideia de que o conhecimento científico é construído em um dado contexto social, e que é fortemente influenciado pela interação entre as pessoas, pode ser discutida a partir deste estudo de caso. Pode-se observar que as interações entre Dalton, Henry e Thomson lhes permitiram trocar ideias, influenciando mutuamente seus trabalhos. Na determinação dos pesos atômicos relativos, Dalton não usou apenas seus próprios resultados, mas também um grande volume de dados disponível na literatura científica de sua época, publicados por outros pesquisadores. Tais exemplos podem ajudar a apresentar a ciência

como um empreendimento coletivo: os cientistas interagem por meio de publicações, e buscam a validação de seu trabalho submetendo seus resultados ao escrutínio de seus pares. Além disso, a comunicação pessoal entre cientistas é um aspecto muito comum da atividade científica. Um aspecto curioso deste caso é que Dalton não tinha um treinamento formal em química, e por isso não foi tão fortemente influenciado por ideias que eram correntes entre os químicos contemporâneos. Rocke (2005, p. 130) sugeriu que esta perspectiva alternativa foi muito importante para a proposição do conceito de pesos atômicos relativos. Pode-se considerar este como mais um exemplo de como as interações sociais – ou, ainda, a falta de interação com uma comunidade específica de cientistas – influenciam a atividade científica.

Como parte de outra investigação, nosso grupo de pesquisa realizou um levantamento das concepções de estudantes de graduação em química, matriculados no IQ-USP. Uma amostra de 28 estudantes respondeu, entre outras, à seguinte pergunta: “Na sua opinião, por que Dalton foi importante para a história da química?” Nas respostas, foi possível identificar um total de 30 afirmações relacionadas a essa questão. Menções a um modelo atômico, ou a uma teoria atômica, foram encontradas em 43% das respostas, e outros 13% das afirmações também foram consideradas adequadas (como, por exemplo, Dalton propôs uma lei para o comportamento dos gases). Entretanto, em 27% das respostas, os estudantes consideraram Dalton como o “inventor dos átomos”, ou como o autor que reviveu a ideia de átomo, que teria estado perdida desde sua proposição pelos filósofos Demócrito e Leucipo na Antiguidade grega. Além disso, outros 17% das afirmações eram vagas ou imprecisas (por exemplo, Dalton propôs o modelo do “pudim de passas” para o átomo; Dalton afirmou que as moléculas são constituídas por átomos; etc.). Uma importante omissão deve ser destacada: nenhum dos estudantes mencionou a criação do conceito de pesos atômicos relativos (ou massas atômicas, na linguagem atual) (Cheloni *et al.*, 2006).

Embora baseado em amostra muito pequena, este levantamento sugere uma questão importante. Em geral, os estudantes têm somente um contato superficial com a história da ciência. Foi observado que o nome de Dalton era familiar aos alunos investigados, mas eles tinham apenas ideias vagas sobre o trabalho desse pensador. O fato de que a teoria atômica quantitativa de Dalton teve papel importante no desenvolvimento da química no século XIX parece ser aceito com facilidade por educadores em química. Todavia, dada a superficialidade da abordagem desse assunto nos contextos didáticos, os estudantes em geral não percebem que o aspecto essencial, o âmago da teoria atômica de Dalton, foi o desenvolvimento do conceito de pesos atômicos relativos. Esse foi um conceito inovador, que estabeleceu um

diálogo entre os níveis macroscópico e microscópico da matéria, e que haveria de influenciar o desenvolvimento da química ao longo do século XIX.

Uma abordagem mais detalhada, na forma de um estudo de caso, poderia gerar novas perspectivas para o ensino da química. Conceitos que os estudantes consideram obscuros (como pesos atômicos relativos, a lei das proporções múltiplas, a lei de Dalton das pressões parciais, o modelo atômico de Dalton) podem ser apresentados em contexto, auxiliando na criação de relações significativas para os estudantes. Ideias não apropriadas, tais como a visão de que Dalton foi o “criador do conceito de átomo”, ou de que ele recuperou a ideia de átomo diretamente dos trabalhos de Leucipo e Demócrito, não deveriam fazer parte do ensino de química. Se os estudantes estivessem familiarizados com a ideia de que teorias corpusculares estavam disseminadas pela Europa desde o século XVII, eles poderiam desenvolver concepções mais adequadas a respeito da elaboração do conhecimento científico, pois Dalton tinha por trás de si um panorama bem estabelecido de ideias corpusculares. Pode-se destacar também que a teoria de Dalton não foi uma consequência da “descoberta” das leis ponderais. Este mito às vezes é sugerido em livros didáticos do ensino médio, e traduz uma concepção empírico-indutivista da ciência, a qual também ajuda a reforçar a ideia de que existe um único “método científico”.³³

³³ O Estudo de Caso II foi baseado em Viana e Porto, 2010, e Viana e Porto, 2007.

Estudo de Caso III: Faraday e *A história química de uma vela*

Introdução

Michael Faraday (1791-1867) foi um dos mais notáveis cientistas do século XIX. Além de seus importantes trabalhos nas áreas de física e de química, Faraday também se preocupou com a divulgação da ciência. Entre 1826 e 1862, realizou mais de uma centena de palestras com esse objetivo. Uma dessas séries de palestras foi publicada em livro em 1861, sob o título *The chemical history of a candle* (traduzido em 2003 para o português por Vera Ribeiro: *A história química de uma vela*). Essa obra tornou-se uma das mais importantes obras de divulgação da ciência no século XIX. O objetivo deste estudo de caso é revisitar esse texto de Faraday, promovendo reflexões sobre aspectos relevantes para o ensino de química na atualidade.

O valor das ideias de Faraday para o ensino de ciências foi, e continua a ser, explorado na literatura sob vários pontos de vista, como na análise que E. Crawford faz da palestra intitulada *Observations on Mental Education* (proferida por Faraday em 1854 e publicada textualmente no ano seguinte) (Crawford, 1998). D. Höttecke (2000), por sua vez, apresentou uma sugestão de trabalho com foco na replicação de experimentos históricos. Em seu artigo, Höttecke argumentou que esse tipo de atividade mostra que a ciência é uma atividade humana multifacetada, incluindo habilidades intelectuais e técnicas, e propôs a replicação de um experimento de Michael Faraday com eletricidade. Recentemente, foi publicado um estudo de caso em português, dirigido a professores de física, sobre Faraday e a descoberta da indução eletromagnética (Dias & Martins, 2004). O estudo das investigações de Faraday sobre os padrões da água produzidos por vibrações inspirou E. Cavicchi a estabelecer um interessante paralelo entre a atitude experimental de Faraday e aquela desempenhada pelo epistemólogo suíço Jean Piaget ao estudar os mecanismos da aprendizagem infantil. Deste paralelo, Cavicchi traça implicações que ajudam a interpretar a aprendizagem científica de estudantes atuais (Cavicchi, 2006). Esses são apenas alguns exemplos de como o trabalho de Faraday pode ser ainda uma rica fonte de inspiração para educadores em ciências.

No que se refere, especificamente, à obra *A história química de uma vela*, observa-se que ela permanece entre os favoritos de professores de química, e é tomado como objeto de análise por pesquisadores da área de ensino de ciências. Walker, Gröger, Schlüter e Mosler (2008) sugerem que a abordagem proposta por Faraday – de estudar ciências a partir do fenômeno familiar de uma vela em chamas – pode ser adequado a iniciativas de ensino aberto

e focado no aluno. Os autores também sugerem que as atividades podem ser adaptadas para diferentes níveis de ensino, do fundamental ao superior. Baldinato e Porto (2008b) explicitaram algumas das estratégias didáticas utilizadas por Faraday em sua série de palestras, ressaltando atitudes que podem ser lidas como recomendações para professores atuais, tais como o apelo a fatos do cotidiano, a demonstração pessoal de fascínio pelo tema ou a adequação do discurso ao público em questão.

Este estudo de caso enfoca alguns dos experimentos descritos em *A História química de uma vela*. Os critérios para a escolha dos experimentos envolvem uma leitura particular da linha de raciocínio seguida por Faraday ao longo de toda a série de palestras, que trata do conhecimento químico como algo que se processa pelas vias de síntese e decomposição dos materiais. Enquanto vários experimentos servem ao autor apenas para ilustrar processos físicos, como os efeitos de capilaridade ou as relações de densidade que fazem com que um objeto afunde ou flutue no meio em que se encontra, outros têm papel mais destacado na formulação de conclusões e no direcionamento das próximas perguntas a serem exploradas nas palestras. No texto, esse segundo tipo de experimento é tipicamente verificado quando o autor explora propriedades específicas de um material (água, ar ou parafina) ou quando se refere a sua decomposição em corpos mais simples (carbono, gás hidrogênio, oxigênio, etc.), que merecem ser investigados na sequência, com vistas ao real entendimento da natureza daqueles materiais iniciais.

Foram selecionados cuidadosamente alguns dos experimentos abordados por Faraday, e preservados na ordem em que aparecem no texto original. Isso foi feito para manter a sequência de ideias seguida pelo autor. Nosso objetivo é tornar explícitos alguns aspectos que estão implícitos nas palestras de Faraday, tais como: as escolhas dos conceitos de composição, análise e reatividade, incluídos em sua apresentação; o modo como Faraday organizou a sequência de idéias (combustão; a composição da vela; a composição da atmosfera); quais foram os temas mais difíceis para um espectador acompanhar na argumentação de Faraday. Ao fazer isso, pretende-se ajudar os professores a refletir sobre a natureza do conhecimento científico, sobre a forma como os conceitos químicos são introduzidos aos alunos, e sobre as dificuldades e concepções alternativas dos estudantes a respeito de conceitos químicos.

Uma leitura reflexiva de *A história química de uma vela*

A vela foi escolhida por Faraday como ponto de partida para suas palestras principalmente por ser um material comum e extremamente conhecido (em uma época em que

não existia luz elétrica). A primeira das seis palestras que compõem o curso de Faraday é inteiramente dedicada a aspectos gerais das velas, tais como sua produção, tipos e formatos. É neste contexto que se introduzem suas primeiras explicações sobre o papel das substâncias combustíveis e sobre o mecanismo básico da queima de uma vela. Faraday observou que uma vela tem propriedades interessantes: se conserva por um longo tempo, mesmo sob condições adversas (como em contato com água do mar por muitos anos) e, mesmo rachada ou quebrada, quando é posta a queimar, o faz regularmente, mantendo a sua função (Faraday 2003, pp. 26 – 27). A vela, quando apropriadamente queimada, desaparece sem deixar vestígios de sujeira no castiçal, o que pode parecer uma circunstância curiosíssima ao observador. Mais do que isso, porém, Faraday usou a vela em suas palestras porque acreditava que:

Não existe lei pela qual seja regida qualquer parte deste Universo que não entre em ação e não seja abordada nesses fenômenos. Não há porta melhor nem mais aberta para que os senhores possam iniciar o estudo da filosofia natural do que o exame dos fenômenos físicos de uma vela (Faraday, 2003, p. 25).

Experimento 1 – analisando para investigar

Para dar início aos testes com a chama, e avançar nas investigações sobre a Natureza, Faraday colocou uma extremidade de um tubo de vidro no meio da chama, e a outra extremidade em um frasco. Pode-se observar que uma substância pesada se deposita no fundo do frasco: trata-se da própria cera da vela, que se transformou em vapor e então se condensou novamente dentro do frasco. Faraday procedeu então a testes com essa cera, aquecendo-a até ficar líquida, recolhendo o vapor que se formou e queimando-o pela aproximação de uma chama. Esse vapor estava no centro da vela, onde se formara pelo próprio calor da chama. O teste final foi feito inserindo novamente uma das extremidades do tubo de vidro no centro da chama da vela, onde o vapor é formado: o vapor, assim capturado, pode então ser queimado aproximando-se uma chama da extremidade oposta do tubo. A Figura 21 reproduz a ilustração do experimento que consta no texto original.

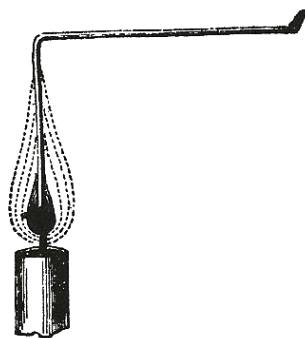


Figura 21. Teste da presença de vapor de cera na chama (Faraday, 2002, p. 43).

Faraday identificou aqui dois fenômenos fundamentais: a combustão e a produção de vapor de cera na região central da chama. A queima ocorreu somente nas áreas mais externas da chama, onde o vapor de cera encontrou o ar necessário à combustão (Faraday, 2003, pp. 43-46).

Nesse ponto, Faraday estava colocando em prática um procedimento muito utilizado na investigação científica: a análise de um fenômeno complexo, ou – em outras palavras – a divisão de um fenômeno complexo em partes mais simples, para obter uma melhor compreensão de como essas partes se articulam. Ao “separar” o vapor da cera da chama, Faraday procurava demonstrar que é necessário que a cera se vaporize para poder queimar. Ao fazer isso, Faraday também contradizia um equívoco comum: o de que o pavio da vela é que queima, sendo a cera apenas um suporte. Faraday introduziu ainda a ideia de que uma entidade invisível, presente no ar, estava envolvida na combustão.

Experimento 2 – investigando o invisível

Em seguida, Faraday discutiu a necessidade de “ar puro” para a combustão. Para isso, colocou um frasco emborcado sobre a chama: depois de algum tempo, a chama começou a esmaecer e, por fim, se apagou. Faraday afirmou que o frasco continuava cheio de ar, mas que este não era mais “puro” como antes, tendo sido parcialmente modificado em sua composição devido ao processo químico de queima. Com estes argumentos, Faraday sugeriu investigar a composição da vela, partindo da análise dos produtos da combustão (Faraday, 2003, pp. 46-47).

Faraday colocou sua audiência diante de um grande problema, que era investigar a participação de uma entidade invisível em um fenômeno. Este é um tipo de questão muito presente no trabalho dos químicos – mas nem sempre os professores estão cientes da dificuldade que os alunos têm de acompanhar seus raciocínios a esse respeito. Em artigo curto

e esclarecedor, Braathen (2000) discute como a questão específica da participação do ar na queima das velas já foi alvo de debate entre pesquisadores do ensino de química e se mostra ligada a uma série de desentendimentos comuns entre estudantes e professores.

Faraday, em sua argumentação, se valeu de sua credibilidade pessoal para afastar uma concepção do senso comum: a de que a chama se apaga quando o ar acaba, chamando a atenção para mudanças na qualidade do ar no interior do recipiente, e não à sua ausência. A explicação para tão simples fenômeno, de fato, depende de uma série de conceitos, cuja demonstração experimental pode ser trabalhosa. Mais uma vez, nem sempre os professores estão atentos para a teia de relações envolvidas nas explicações dos fenômenos químicos, e que seus alunos podem não ser capazes de compreender tudo de uma só vez.

Experimento 3 – identidade e diversidade

Ao final da segunda palestra, Faraday considerou os possíveis produtos da combustão e adiantou ao público experimentos simples que poderiam evidenciar a presença de uma substância “condensável”, resultante da queima da vela. Esse produto era a água, e esse era o “gancho” para iniciar o terceiro encontro da série de palestras. Para tanto, Faraday se valeu de “uma ação muito visível da água”, que ele usou “como teste para verificar sua presença”. Tomou um pequeno pedaço de potássio e o colocou em uma vasilha com água, e observou o pequeno sólido “se iluminar e boiar, queimando com uma chama violeta” (Faraday, 2003, pp. 57-58).

Em seguida, Faraday aplicou o mesmo teste para a parte “condensável” dos produtos de combustão da vela. Para isso, primeiro colocou uma vela acesa debaixo de uma cápsula de porcelana contendo uma mistura de gelo e sal; formou-se uma gota de líquido incolor, condensada sobre a fria superfície inferior do recipiente (Figura 22). Faraday recolheu essa gota em outro frasco, e acrescentou a ela um pouco de potássio. Como resultado, o potássio “pegou fogo”, “queimando” da mesma maneira que no teste anterior, feito com água. Faraday afirmou que o mesmo poderia ser observado recolhendo-se o condensado proveniente da combustão de uma lâmpada a gás ou a óleo, ou seja: todas essas substâncias combustíveis produzem água ao serem queimadas (Faraday, 2003, pp. 58-59).

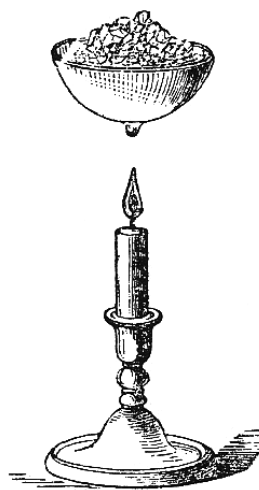


Figura 22. Montagem utilizada para coletar uma gota da água proveniente da combustão da vela (Faraday, 2002, p. 66).

Neste caso, existe implícita uma questão metodológica geral: como estabelecer a identidade (ou a diversidade) de dois fenômenos semelhantes, ou, mais especificamente, de duas substâncias. Estabelecer que dois fenômenos possuem uma propriedade em comum não prova que eles são da mesma natureza. É preciso diferenciar os aspectos essenciais do fenômeno – aqueles que definem sua natureza – dos aspectos superficiais ou acidentais – que estão como que “sobrepostos” ao núcleo imutável do fenômeno, são variáveis e sujeitos a influências externas (Martins, 1999, p. 833). No caso em questão – como identificar se uma substância é ou não água – Faraday admitiu implicitamente que uma propriedade essencial da água é sua reação química característica com o potássio. Além disso, está-se admitindo também que nenhuma outra substância reage da mesma maneira com o potássio – o que pode não ser verdadeiro. O teste dessa hipótese poderia ser muito complicado, mas, em termos lógicos, não poderia ser descartado antes de se estabelecer a identidade do líquido obtido com a água. O fato, porém, é que há muitos outros testes possíveis, que, em conjunto, levavam Faraday à convicção de que a substância produzida era água. O teste com o potássio foi escolhido, provavelmente, por sua rapidez, facilidade de compreensão pelo público, e seu dramático efeito visual. Compare-se, por exemplo, com as medidas dos pontos de fusão e de ebulição do líquido: sua execução e explicação para o público seriam muito mais difíceis e menos atraentes. A discussão de questões como esta pode ajudar os professores a refletir sobre a existência de muitas camadas de significação ocultas sob o discurso da ciência, as quais nem sempre são percebidas por eles.

Experimento 4 – relacionando a ciência ao cotidiano

Faraday a seguir executou experimentos buscando demonstrar que “a água é uma coisa individual: nunca se altera... em estado sólido, líquido ou de vapor”, acrescentando que “é um material composto de duas substâncias, uma das quais extraímos da vela e outra que encontraremos em outro lugar” (Faraday, 2003, pp. 59-60).

Antes de passar à questão da composição da água, Faraday discutiu mudanças de estados físicos, argumentando que essas mudanças não alteram essencialmente a água. Faraday colocou água líquida em um frasco de vidro, um pouco mais do que o suficiente para cobrir o fundo, e a aqueceu para converter o líquido em vapor – mostrando, assim, a diferença de volume. Sobre a boca do frasco, Faraday apoiou um vidro de relógio, e observou que este balançava “como uma válvula trepidante” (Faraday, 2003, p. 61). Este foi um indício de que o frasco estava cheio de vapor, o qual tendia a escapar devido ao aumento de volume. Além disso, Faraday chamou atenção para o fato de que o volume de água líquida remanescente no fundo do frasco não se alterou significativamente – ou seja, a diferença de volume entre líquido e vapor é muito grande. Faraday também demonstrou isso de maneira inversa. Tendo um recipiente de estanho repleto de vapor de água, Faraday rapidamente o fechou e jogou água fria na parte externa (Figura 23). Como o vapor condensa rapidamente, o recipiente colapsa – segundo Faraday, porque “se produz um vácuo no interior, em decorrência da condensação do vapor”. A partir desses experimentos, Faraday concluiu que uma polegada cúbica de água líquida poderia ser convertida em um pé cúbico de vapor, e vice-versa (Faraday, 2003, p. 63).

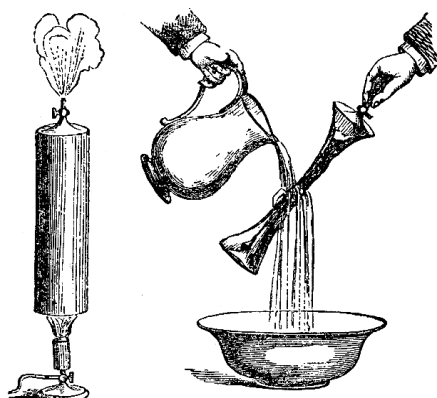


Figura 23. Testes para as propriedades do vapor e da água líquida (Faraday, 2002, p. 74).

Faraday também buscou um efeito dramático com a demonstração a seguir. Ele encheu completamente com água um recipiente de ferro fundido, com paredes espessas e muito resistente, eliminando todo o ar. Então, mergulhou-o em uma mistura de gelo e sal, para resfriá-lo. Após certo tempo (que Faraday utilizou para fazer outras demonstrações), o recipiente de ferro se rompeu, produzindo um forte ruído. Faraday afirmou que a explicação era a mesma para o fato de o gelo flutuar sobre a água: o gelo tem volume maior do que a mesma massa de água (Faraday, 2003, pp. 61-63). Neste caso, Faraday relacionou a explicação de sua demonstração com um fenômeno do cotidiano, conhecido do seu público, revelando que ambos têm uma mesma causa.

Experimento 5 – seguindo um raciocínio complexo

Faraday se propôs a mostrar que a água é um composto de duas substâncias simples. Ele perguntou: “Como vamos chegar lá? Pessoalmente, conheço uma porção de caminhos, mas quero que *os senhores* descubram, associando em sua mente o que eu já lhes disse” (Faraday, 2003, p. 64; grifo no original).

A partir daí, Faraday apresentou uma série de demonstrações e argumentos, envolvendo metais, água e combustão. É interessante notar a preocupação manifestada por Faraday, de que seu público descobrisse a explicação. Embora não oferecesse a resposta pronta, pode-se observar que a linha de raciocínio seguida por Faraday não era “natural” ou “óbvia”, mas que foi estruturada a partir de uma série de conhecimentos químicos – conforme será visto a seguir.

Mais uma vez, Faraday demonstrou a ação do potássio metálico sobre a água, destacando: “vejam como queima lindamente, criando uma lâmpada flutuante, ao usar a água em vez do ar” (Faraday, 2003, p. 64). A seguir, colocou um pouco de limalhas de ferro na água, e observou que a limalha se enferruja e exibe uma ação sobre a água – da mesma forma que o potássio, disse Faraday, embora em um grau de intensidade diferente. Ele então colocou uma pequena tira de zinco em uma chama, mostrando que este também sofre combustão, transformando-se em um resíduo branco. Faraday pediu ao público para juntar “mentalmente esses fatos diferentes”. Nesse sentido, ele disse: “aos poucos, fomos aprendendo a modificar a ação dessas substâncias diferentes e a fazê-las dizerem o que queremos saber”. Faraday acrescentou mais uma demonstração, lançando raspas de ferro em uma chama, para mostrar que elas se queimam, e observou que a limalha de ferro “queima lindamente no ar” (Faraday, 2003, p. 65).

Feito isso, Faraday afirmou que agora se poderia entender o que acontece com o ferro ao se encontrar com a água. Ele reproduziu um experimento feito por Lavoisier, o primeiro químico a tratar a composição da água nos mesmos termos usados hoje. O experimento consistia na passagem de vapor de água através de um cano de metal colocado sobre uma fornalha, e contendo em seu interior lascas de ferro polidas e aquecidas ao rubro (Figura 24).

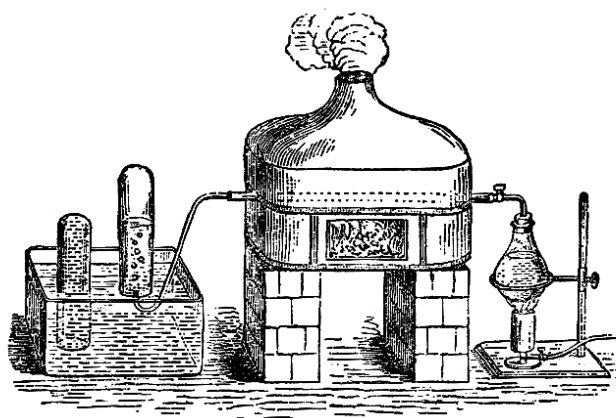


Figura 24. Experimento de Lavoisier reproduzido por Faraday para decomposição a água (Faraday, 2002, p. 80).

Faraday observou que, após o vapor de água passar sobre o ferro aquecido, foi liberado na outra extremidade do cano um gás, que foi recolhido em um recipiente emborcado sobre água. Este gás não poderia ser vapor de água, uma vez que não se condensou quando resfriado sob água. Além disso, Faraday fez o seguinte teste: “se eu puser uma faísca na extremidade do frasco [*em que o gás foi coletado*], ela se acenderá com um pequeno ruído. Isso nos indica que não se trata de vapor: o vapor extingue o fogo, não se inflama” (Faraday, 2003, p. 67). Faraday acrescentou que poderia obter essa substância de qualquer amostra de água, fosse ela produzida pela chama de uma vela, ou de qualquer outra fonte. Prosseguindo com seu raciocínio, Faraday revelou que a ação do vapor de água sobre o ferro deixava este metal em um “estado muito parecido com o da limalha depois de ser queimada” (Faraday, 2003, p. 67). O gás inflamável também poderia ser produzido pela ação da água sobre outros metais. Faraday informou que o contato da água com o zinco não produziu um efeito tão rápido como com o potássio, porque existe um revestimento sobre o zinco que impede tal ação. Sugeriu, então, dissolver esse “verniz” protetor do zinco, fazendo uso de um ácido. Observou que a transformação era muito mais rápida do que no caso do zinco com água somente. Faraday apontou o desprendimento de gás em abundância, e que era a mesma substância inflamável anteriormente obtida a partir de água. Faraday realizou vários

experimentos com esse gás, e salientou que essa substância veio da vela (que consistia desse gás e de carbono), uma vez que o gás podia ser separado da água condensada da chama. Faraday declarou que a substância gasosa em questão era hidrogênio (Faraday, 2003, pp. 68-69).

Nesta sequência, é possível identificar mais algumas características da argumentação científica utilizada por Faraday. Ele partiu do raciocínio por analogia, mostrando ao público que a ação da água sobre potássio, ferro e zinco é análoga, sendo que essas três substâncias pertencem à classe dos metais. Mais uma vez, a questão metodológica já destacada no caso do Experimento 3 está presente: o fenômeno essencial é o mesmo (reação com água), e as diferenças (velocidade das reações) seriam meramente acidentais ou superficiais. Segundo o raciocínio de Faraday, na dissolução do zinco, o ácido seria um mero acessório, pois ele considera que também aqui a reação é entre o metal e a água. Além disso, há outra analogia, bem mais complexa, que relaciona a combustão e a reação com água. Para acompanhar o raciocínio de Faraday, é preciso admitir que a “queima” de potássio em água é análoga à queima de limalha de ferro no ar, por exemplo. Os motivos que levaram Faraday a estabelecer tal relação podem se tornar mais claros à medida que as demonstrações e explicações se sucedem, mas, novamente, não são óbvios. Um estudante do ensino médio que estiver iniciando seu aprendizado em química, por exemplo, pode ter dificuldade em compreender, de maneira significativa, a sequência de ideias, e seu professor deve estar atento para isso.

Experimento 6 – mais analogias

Faraday apresentou o que antigamente era chamado de “vela dos filósofos”. Colocou pedaços de zinco em um recipiente, adicionou água e ácido sulfúrico, e adaptou ao recipiente uma rolha atravessada por um tubo de vidro. Observando a vazão de gás hidrogênio através do tubo, Faraday aproximou uma chama para iniciar sua ignição. Faraday descreveu a chama obtida como “um tipo bobo de chama, meio frágil” (Faraday, 2003, p. 70), mas muito quente. Ele então procedeu à condensação do produto da combustão do gás, colocando um frasco de vidro de boca larga sobre a chama. Formaram-se gotículas incolores no interior do frasco, e depois de algum tempo a água começou a escorrer pelas paredes internas (Figura 25). Faraday observou que a combustão do hidrogênio produziu somente água, pois não houve nenhum outro resíduo nem outra substância condensada. A seguir, Faraday demonstrou o quão leve é o hidrogênio. O frasco gerador de hidrogênio foi conectado, por meio de um tubo, com uma vasilha contendo água e sabão. As bolhas de sabão assim formadas subiram, enquanto Faraday demonstrou que as bolhas sopradas com a boca tendem a cair (Faraday, 2003, p. 71).

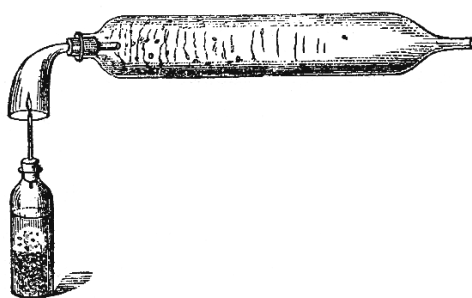


Figura 25. Condensação da água formada pela combustão do hidrogênio dentro da “vela dos filósofos” (Faraday, 2002, p. 89).

Faraday reconheceu que ainda faltava identificar o que mais, além do hidrogênio, constitui a água. Para fazer isso, Faraday apresentou ao público sua bateria voltaica, “um aparelho que declarei... ser um arranjo de força, ou potência, ou energia química, ajustado de maneira a nos transmitir seu poder por estes cabos”. Mais uma vez, Faraday recorreu a analogias: “vamos juntar algumas substâncias, sabendo o que elas são, e em seguida ver o que o instrumento [*i.e.*, a *bateria voltaica*] faz com elas” (Faraday, 2003, p. 75). Faraday colocou um pedaço de cobre metálico em ácido nítrico, e avisou que o “belo vapor vermelho” produzido seria descartado pela chaminé. Esperou até que a solução se tornasse azul, e boa parte do metal não pudesse mais ser vista. Mergulhou então chapas de platina, ligadas à bateria voltaica, na mistura que resultou da dissolução do cobre com ácido. Após algum tempo, Faraday apontou para um depósito de cobre sobre uma das placas de platina, concluindo que o mesmo cobre que fora dissolvido havia sido novamente transformado em metal pela bateria voltaica (Faraday, 2003, pp. 76-78).

Tendo demonstrado o poder da bateria voltaica, Faraday se propôs a demonstrar seu efeito sobre a água. Dois eletrodos, ligados à bateria voltaica, foram colocados dentro de um recipiente cheio de água (à qual foi adicionado um pouco de ácido), e os produtos gasosos foram coletadas sob a água, em outros frascos. Faraday perguntou se o produto poderia ser vapor de água, e descartou essa possibilidade argumentando que o gás recolhido não se condensou. Para verificar se seria hidrogênio, Faraday sugeriu tentar queimá-lo. Ao aproximar uma chama, Faraday chamou a atenção para o ruído diferente produzido pela explosão resultante, em comparação com o ruído produzido quando da queima do hidrogênio no ar. Além disso, Faraday salientou que o gás coletado queimou sem entrar em contato com o ar externo, diferentemente do hidrogênio. Também observou que a explosão do gás produziu água. Faraday comentou que a queima da vela produz água com a ajuda da

atmosfera; no entanto, ele agora estava produzindo água independentemente do ar atmosférico. Ele concluiu que a água “a água deve conter aquela outra substância que a vela extrai do ar e que, ao se combinar com o hidrogênio, produz água” (Faraday, 2003, p. 81).

Nesta série de experimentos, Faraday procurou novamente convencer seu público por meio de analogias. Para explicar a ação da bateria voltaica sobre as substâncias, Faraday preparou uma solução (dissolveu cobre com ácido nítrico) e, em seguida, recuperou um dos componentes iniciais (cobre). Ou seja, Faraday preparou um “composto”, a partir de um elemento conhecido (cobre), e demonstrou que a bateria voltaica foi capaz de decompor esse “composto”, regenerando o elemento de partida. Aplicou então o mesmo dispositivo sobre a água, esperando que o público fosse entender que a ação era do mesmo tipo. Faraday não ocultou que a adição de um pouco de ácido era necessária, ressaltando que foi “apenas para facilitar a ação; ele não sofre nenhuma mudança nesse processo” (Faraday, 2003, p. 78). Entretanto, isso não foi demonstrado. O público teve que aceitar que o ácido era apenas superficial ou acidental nesse caso, e não uma parte essencial do fenômeno sob escrutínio.

Experimento 7 – mais análises

Faraday repetiu a decomposição da água, mas desta vez recolhendo os gases produzidos em cada eletrodo em frascos separados. Observou que um dos frascos se encheu de gás mais rapidamente do que o outro. Os gases de ambos os frascos eram incolores e, à primeira vista, similares em todos os aspectos. Faraday passou então a examiná-los. Ao testar o gás contido no frasco que se encheu mais rapidamente, Faraday reconheceu todas as propriedades já vistas anteriormente para o hidrogênio. Ao colocar, no interior do frasco que demorou mais a ficar cheio, uma lasca de madeira incandescente, Faraday viu que sua combustão foi reforçada. Concluiu que este frasco continha a outra substância componente da água, que é responsável pela queima do hidrogênio, e que “deve ter sido extraída da atmosfera” (Faraday, 2003, p. 83) – a qual revelou chamar-se oxigênio.

Faraday explicou que havia outras maneiras de se obter oxigênio. Misturando óxido de manganês com clorato de potássio, e aquecendo em uma retorta, fez com que o oxigênio fosse liberado da mistura. Faraday observou que o gás assim produzido era o mesmo obtido a partir da decomposição da água – “transparente, não dissolvido pela água e apresentando as propriedades visíveis comuns da atmosfera” (Faraday, 2003, p. 85). Ao colocar uma vela acesa na presença desse gás, sua chama se tornou mais intensa. Faraday observou: “É esplêndido ver como, por meio do oxigênio, aceleramos a combustão... todos os tipos comuns

de combustão” (Faraday, 2003, p. 87). O mesmo foi demonstrado para a queima do enxofre, do ferro e do fósforo.

Nesse ponto, Faraday pareceu considerar que o público estava pronto para as conclusões decisivas de tudo o que fora testado até o momento:

Por que um pedaço de potássio decompõe a água? Porque encontra oxigênio nela. O que é liberado quando introduzo água, como vou fazer novamente [*com o potássio*]? Ela libera o hidrogênio, que se queima, mas o potássio em si combina-se com o oxigênio. Este pedaço de potássio, ao decompor a água – a água, dirão os senhores, derivada da combustão da vela – retira o oxigênio que a vela tirou do ar e, deste modo, libera o hidrogênio (Faraday, 2003, p. 89).

Ao recolher separadamente os dois gases produzidos na eletrólise da água, Faraday mais uma vez se valeu da análise do problema em partes mais simples. Ao comparar as propriedades consideradas essenciais, Faraday identificou o hidrogênio e o oxigênio. Finalmente, Faraday sumarizou as diversas observações que fez, e as explicou em termos de diferentes e sucessivas combinações do hidrogênio e do oxigênio com outros elementos, ou entre si. Para concluir a linha de raciocínio desenvolvida, faltaria explicar por que o oxigênio apresenta propriedades semelhantes às do ar atmosférico, porém mais acentuadas. Posto de outra forma, seria necessário explicar o que mais existe no ar atmosférico, além de oxigênio. Foi precisamente o que Faraday fez na sequência.

Experimento 8 – fechando o círculo

O experimento seguinte tinha como objetivo investigar a composição da atmosfera. Dois frascos – um deles contendo oxigênio puro, e o outro, ar atmosférico – foram colocados, separadamente, em contato com óxido nítrico. No frasco contendo oxigênio puro, formou-se um gás intensamente avermelhado. No frasco com ar atmosférico, também se formou o gás avermelhado, mas esse efeito foi menos pronunciado. Mantendo esse sistema sempre isolado da atmosfera, e removendo o gás formado por meio de seguidas dissoluções em água, Faraday foi adicionando mais óxido de nitrogênio, repetindo o procedimento até que todo o oxigênio presente na amostra inicial de ar tivesse sido consumido. Restou, no frasco, um resíduo gasoso que o óxido nítrico não mais transformava em gás avermelhado. Faraday concluiu que este gás residual era parte da atmosfera, mas não era oxigênio. Assim, a atmosfera seria constituída de duas partes: o oxigênio, responsável pelas combustões; e outra substância, o nitrogênio, que não participa das combustões e constituiu a maior parte do ar. Faraday ressaltou ainda a pouca reatividade química do nitrogênio (Faraday, 2003, pp. 91-94).

Faraday retornou então à chama da vela, a fim de extrair dela mais informações. Faraday já havia observado anteriormente que, além de água, a vela produz também fuligem – e outro produto, que seria investigado agora. Faraday envolveu uma vela acesa com um recipiente, cuja parte superior não era totalmente fechada, mas se prolongava em um tubo de vidro. Faraday observou que a maior parte da umidade produzida se condensava nas paredes do recipiente, e o ar que saía do tubo na parte superior foi capaz de apagar outra chama colocada próxima a ele (Figura 26).

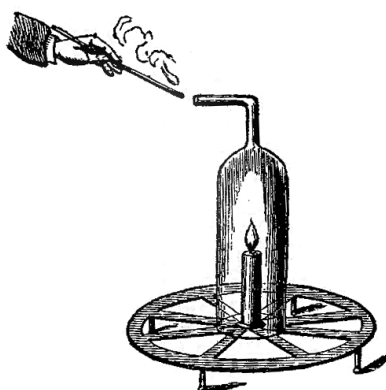


Figura 26. Dispositivo montado para testar as propriedades do gás carbônico (Faraday, 2002, p. 142).

Faraday então indagou se havia algum outro gás ali, além do já esperado e pouco reativo nitrogênio. Para responder a isso, ele recolheu em um frasco um pouco do gás proveniente da combustão da vela, adicionou água de cal recém-preparada, e agitou vigorosamente o frasco. Faraday observou que a água de cal ficou turva. Repetindo o teste com uma garrafa contendo apenas ar atmosférico, Faraday observou que nem o oxigênio, nem o nitrogênio, eram capazes de causar alteração na água de cal. Portanto, a propriedade de turvar a água de cal deveria pertencer ao outro produto da combustão da vela: um gás que, conforme lembrou Faraday, foi chamado por Joseph Black de “ar fixo”, pois estava presente em corpos fixos (ou seja, não voláteis), tais como o mármore e outras rochas. Em seguida, Faraday apresentou outro método simples de obtenção do gás carbônico: adicionando ácido muriático a pedaços de mármore, ele produziu grandes quantidades de gás, que também apresentou as propriedades de extinguir a chama e turvar a água de cal (Faraday, 2003, pp. 102-108).

Faraday lembrou que, quando uma vela não queima bem, libera fumaça, na forma de partículas pretas. Essa fuligem é o carbono que, caso houvesse sido completamente queimado, seria liberado na forma de gás carbônico. A fim de ilustrar esse ponto, Faraday procedeu à

queima de carbono – carvão comum, pulverizado – e mostrou que o mesmo queima de modo característico (Faraday, 2003, pp. 111-112).

Tendo em mente que o gás carbônico se tratava de um composto de carbono e oxigênio, Faraday decidiu decompô-lo. Para isso, usou novamente potássio, que fora capaz de separar o oxigênio do hidrogênio quando colocado em contato com a água. Faraday aqueceu ligeiramente um pequeno pedaço de potássio e o introduziu em um frasco contendo dióxido de carbono. O potássio “queima” lentamente na presença desse gás, se combinando, uma vez mais, com o oxigênio. Para investigar os produtos, Faraday colocou o resíduo na água, e chamou a atenção para a presença de carbono, não-solúvel. Outro produto foi a potassa, que se dissolveu na água. Faraday concluiu comentando que o carbono era a única substância elementar sólida conhecida cujo produto de combustão se dispersa como um gás – diferente, por exemplo, do ferro, que se queima em um sólido, ou do fósforo, cuja queima desprende uma fumaça opaca (Faraday, 2003, pp. 113-116).

Nesta última série de experimentos selecionada aqui, Faraday concluiu uma série de raciocínios iniciados com a observação de uma vela acesa. Completou-se a sequência lógica de raciocínios a respeito da composição da atmosfera, e retomou-se a questão do “outro componente” que constitui a vela, ao lado do hidrogênio – isto é, o carbono. Destaca-se, aqui, o uso do potássio como instrumento para decompor o gás carbônico, mais uma vez recorrendo à analogia da decomposição da água por meio do mesmo metal. Observa-se, também, como, ao discutir a composição das substâncias, Faraday se preocupou em demonstrar tanto a síntese a partir das substâncias simples, quanto sua decomposição nas mesmas. Nesse aspecto, Faraday estava seguindo o exemplo de Lavoisier, cuja argumentação a respeito da composição das substâncias seguia esse modelo.

Algumas considerações sobre o caso das palestras de Faraday

O livro de Faraday, *A história química de uma vela*, pode ser uma rica fonte de atividades para o ensino de química nos diferentes níveis. Faraday parte de um fenômeno comum, bem conhecido de seu público – a chama de uma vela – e daí discute muitos conceitos de química. É curioso notar como o fogo não é mais um assunto muito discutido nas aulas de química, como foi observado por Bachelard:

Os livros de Química, com o passar do tempo, viram os capítulos sobre o fogo tornarem-se cada vez mais curtos. E são numerosos os livros modernos dessa disciplina nos quais buscaríamos em vão um estudo sobre o fogo e sobre a chama. *O fogo não é mais um objeto científico. O fogo, objeto imediato relevante... não*

abre mais nenhuma perspectiva a um estudo científico (Bachelard, 1994, p. 3, grifo no original).

Esse poderia ser outro ponto a debater com professores em formação. O livro de Faraday, por sua vez, pode ajudar a trazer de volta o fogo como tema para discussão na sala de aula de química. O texto de Faraday se mostra muito propício para ser utilizado no ensino de ciências. Por um lado, pode-se explorar seu conteúdo de química, pela discussão de tópicos que são válidos ainda hoje, e que eventualmente podem ser aprofundados em aulas posteriores. Por outro lado, como foi sugerido neste estudo de caso, o texto de Faraday aponta para vários aspectos do pensamento científico dignos de discussão.

O uso de um texto famoso, como o de Faraday, também pode mostrar aos professores que não existe material didático “perfeito”. Os professores devem lidar com a complexidade inerente ao ensino de química, refletindo amiúde sobre suas escolhas curriculares e possíveis concepções alternativas dos estudantes, e analisando criticamente os materiais didáticos a sua disposição.³⁴

³⁴ O Estudo de Caso III foi baseado em Porto, Baldinato e Nagy, no prelo.

Estudo de Caso IV: A síntese da quinina

Introdução

Este estudo de caso tem por objetivo gerar reflexões acerca do processo de construção do conhecimento científico, a partir da análise de alguns aspectos históricos referentes à síntese da quinina, importante medicamento empregado no combate à malária. O caso aqui apresentado se constitui em outro exemplo de como um episódio pode ensinar simultaneamente discussões sobre a natureza da ciência e sobre conteúdos químicos. Dessa forma, pode ser trabalhado com professores em formação, tratando de tópicos de química orgânica ao mesmo tempo em que se discute a natureza complexa da atividade científica, que inclui aspectos sociológicos e motivações pessoais dos cientistas.

A quinina como bem comercialmente cobijado

A quinina é o principal alcalóide extraído da casca das quinas, árvores pertencentes ao gênero *Cinchona*, originário da América do Sul, e do qual fazem parte aproximadamente quarenta espécies. Com fórmula molecular $C_{20}H_{24}N_2O_2$, a molécula da quinina é constituída pelos anéis quinolina e quinuclidina. A este último estão associados três dos quatro centros assimétricos existentes na molécula, conforme representado na Figura 27.

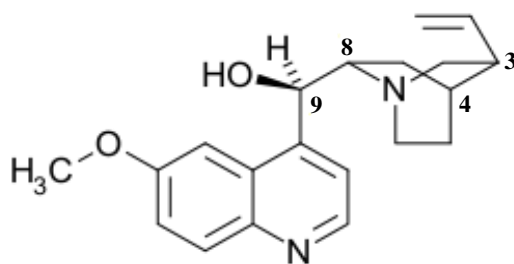


Figura 27. Fórmula estrutural da quinina.

A importância histórica da quinina está diretamente relacionada ao seu papel no tratamento da malária, doença que, com exceção das regiões polares e subpolares, foi identificada em todo o planeta. Segundo Camargo (1995),

A malária foi sempre, em todos os tempos, um grande algoz da humanidade. Algumas epidemias, como a peste do século XIV, podem ter tido maior dramaticidade pela agudeza de sua ocorrência, mas nenhuma outra doença se

compara à malária pela tenacidade e perenidade com que flagela a humanidade (Camargo, 1995, p. 212).

O extrato da casca da quina foi o primeiro, e por muito tempo o único, medicamento realmente eficaz contra a malária. As primeiras descrições de seu uso datam do século XVII, a partir do qual a literatura médica registra uma infinidade de relatos de cura da malária a partir da quina e cerca de mil estudos específicos sobre o tema (Ferraz, 1995). Com sua “fama” espalhada pelo mundo, a casca da quina se tornou um bem cobiçado nos comércios coloniais, motivo pelo qual os governos francês, português e espanhol empenharam-se em expedições objetivando a busca dessa riqueza em outras regiões da América³⁵. Como resultado, além da rápida redução da população desse gênero vegetal na América do Sul, o mercado colonial se viu invadido por uma variedade de “cascas amargas”, as quais nem sempre correspondiam às expectativas acerca de suas propriedades curativas. De fato, semelhanças nos aspectos botânicos e o sabor amargo eram considerados critérios suficientes para classificação do espécime como a “verdadeira” quina (Ferraz, 1995). Critérios mais elaborados dependiam de conhecimentos mais profundos sobre a quina, especialmente no que se refere à sua composição e propriedades químicas. Ainda que não configure tema de interesse específico do presente estudo de caso, é interessante destacar que a variabilidade na eficácia da quina serviu como pretexto para outras discussões que opunham defensores e inimigos da quina. Nesse contexto, Camargo (1995) apontou três questões principais que estavam envolvidas nos debates sobre o uso da quina: a questão religiosa, a questão médica e a questão comercial.

Os grandes promotores do extrato da quina para o tratamento de febres foram, inicialmente, os jesuítas. Como determinados adeptos do protestantismo viam com maus olhos tudo que tivesse origem católica, um dos primeiros conflitos envolvendo a quina foi de ordem religiosa e não científica. De fato, o uso da quina chegou a ser proibido em alguns países como Inglaterra e França.

No que se refere à questão médica, houve também um conflito conceitual, menos apoiado nos resultados obtidos com o extrato da quina do que nas concepções acerca das causas das doenças. Assim, de um lado, uma parcela dos médicos atuantes no início do século XVIII entendia que as doenças eram causadas pelo desequilíbrio e contaminação dos humores corporais, de forma que o corpo doente deveria ser purificado através de sangrias, purgativos, clisteres, etc., enquanto, de outro lado, havia partidários de outra concepção de doença,

³⁵ A primeira descrição botânica da quina foi feita pelos franceses Charles-Marie de la Condamine e Joseph de Jussieu, em expedição realizada entre 1735 e 1745, e versava sobre a quina do Equador, a qual se considerou, por muito tempo, a única existente (Ferraz, 1995).

influenciados pelos próprios resultados obtidos no tratamento da malária. A quina, nesse contexto, podia ser vista como uma droga específica que combatia um mal específico, sem que humores fossem expelidos. A disputa entre diferentes concepções médicas, permeadas de complexidade, haveria de se estender ainda por muito tempo.

O terceiro aspecto apontado por Camargo (1995) diz respeito ao fato de que a quina também esteve envolvida em questões comerciais. Conforme mencionado anteriormente, o gênero *Cinchona* é nativo da América do Sul, especialmente das regiões andinas do Equador, Peru e Bolívia. À época das expedições, jesuítas e negociantes de especiarias exportavam suas cascas para a Europa. Um ponto preocupante, no entanto, era a já citada inconstância na qualidade das mesmas, muito provavelmente em função da dificuldade de distinção entre as diferentes espécies do gênero. A mais bem sucedida das expedições, segundo Camargo (1995), foi a de Charles Ledger que, em 1865, conseguiu coletar sete quilos de sementes de uma variedade de ótima qualidade (posteriormente seria possível afirmar que se tratava de espécie com alto teor de quinina). As sementes foram vendidas a negociantes indianos e holandeses, que iniciaram produtivas plantações em Madras e Java (atual Indonésia) – as quais viriam a adquirir especial importância no futuro, dado que, com a depauperação das reservas de quina da América do Sul, essas plantações se tornaram as principais fornecedoras da planta ao Ocidente, constituindo palco do conflito entre aliados e japoneses pelo controle das plantações de quina durante a Segunda Guerra Mundial. Esse tipo de disputa só teve fim com o advento da síntese orgânica e a ampliação das possibilidades para o tratamento da malária.

Foi apenas em 1820 que Pierre Joseph Pelletier e Joseph Caventou isolaram a quinina a partir do extrato da quina (Barreiro, 1990). A elucidação de sua estrutura, no entanto, só foi finalizada em 1907, por Paul Rabe, pesquisador alemão que dedicou vários anos de sua carreira científica à investigação dos alcalóides da *Cinchona*, especialmente da quinina (Shulemann, 1932).

Mesmo antes da proposição de sua fórmula estrutural, algumas tentativas de síntese, ou mesmo de melhor compreensão acerca das propriedades reacionais da quinina, já haviam sido desenvolvidas. Assim, em 1853, Pasteur obteve a quinotoxina (à época denominada quinicina) a partir da isomerização da quinina (Figura 28). É curioso observar que, em 1856, na tentativa de obtenção da quinina, Perkin obteve sucesso na síntese da mauveína, acontecimento que representou marco importante no processo de desenvolvimento da indústria química no final do século XIX (Correia, Costa & Ferreira, 2002).

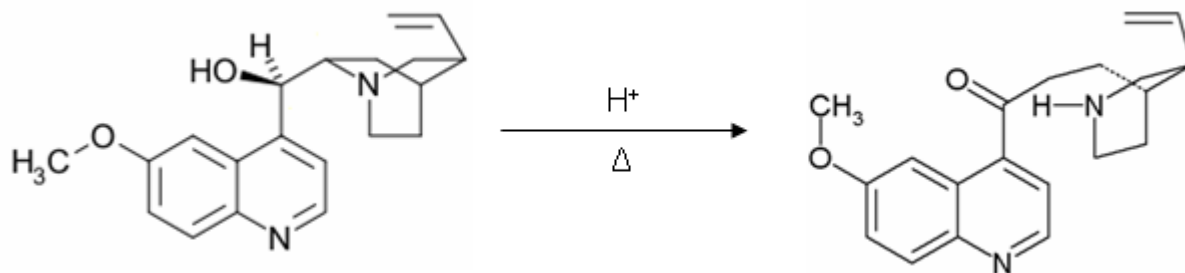


Figura 28. Representação moderna para a transformação da quinotoxina (direita) em quinina (esquerda), realizada por Pasteur em 1853.

A síntese da quinina: primeiros passos

Em 1918, Paul Rabe e Karl Kinder, também alemão, anunciaram a primeira síntese parcial da quinina em artigo com pouco mais de uma página no *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*. A rota sintética proposta pelos pesquisadores, apresentada segundo as representações estruturais modernas, pode ser observada na Figura 29.

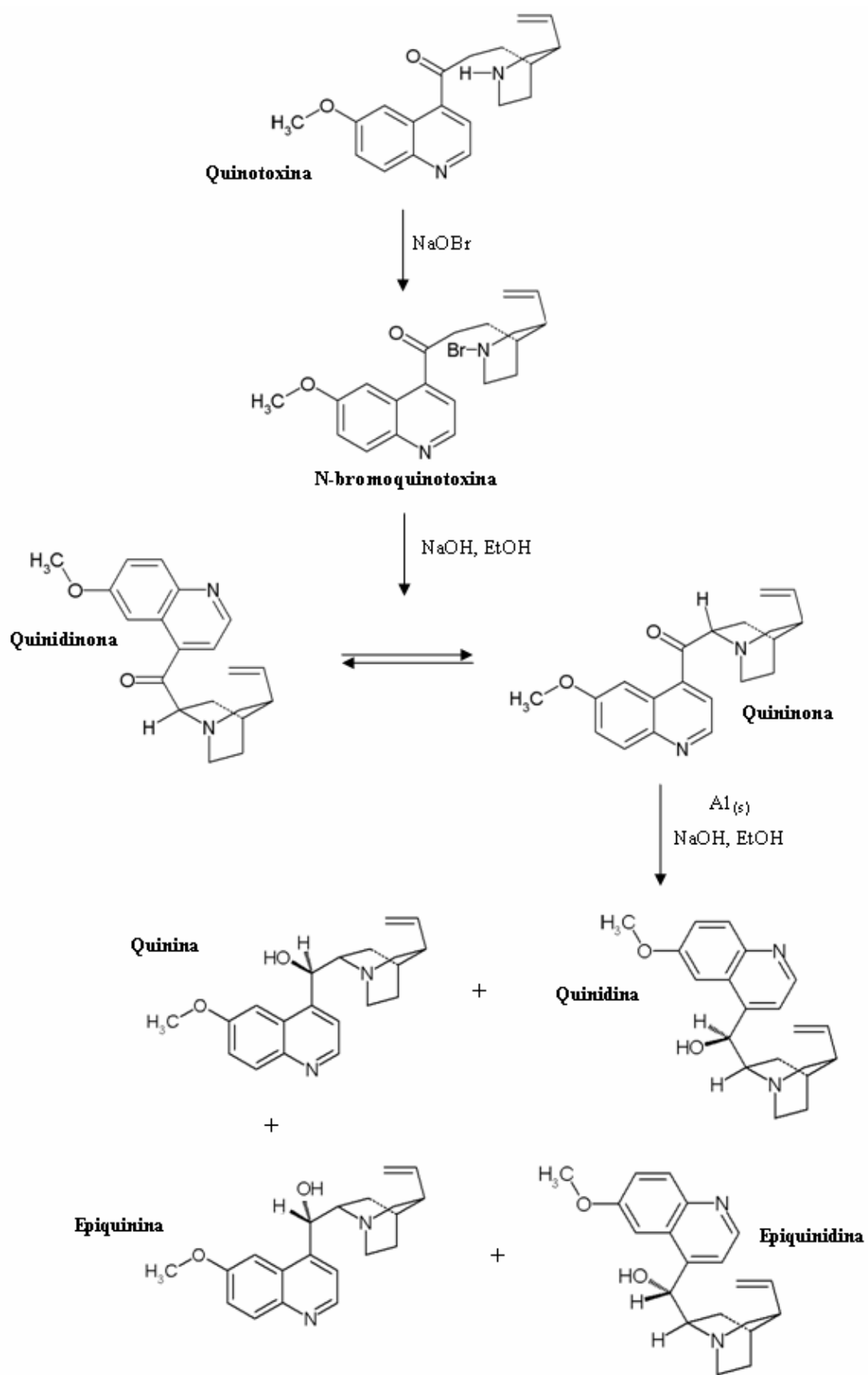


Figura 29. Representação atual para a síntese parcial da quinina a partir da quinotoxina, proposta por Rabe e Kindler em 1918.

Fundamentalmente, o que Rabe e Kindler propuseram foi a reconversão da quinotoxina a quinina, processo inverso ao proposto por Pasteur em 1853. A síntese parcial da quinina consistiria, então, na bromação da quinotoxina, seguida por ciclização em meio básico e redução com alumínio. Como resultado, Rabe e Kindler chegaram a uma mistura de quatro álcoois isoméricos, a partir da qual afirmaram isolar, por cristalização, a quinina, com rendimento de 12%, e a quinidina, com rendimento de aproximadamente 5,5% (Rabe e Kindler, 1918). A caracterização dessas substâncias foi feita por meio da determinação de suas fórmulas empíricas, pontos de fusão e rotação óptica. Esta última propriedade era de especial importância para a caracterização da quinina, uma vez que essa é a única molécula levorrotatória dentre os quatro epímeros obtidos após a etapa de redução.

Apesar da escassez de detalhamento experimental observada no trabalho publicado por Rabe e Kindler (1918), outros indícios obtidos por esses e outros pesquisadores pareciam corroborar com a síntese parcial da quinina. Em extensa revisão sobre a síntese da quinina, publicada em 2007, Seeman elenca alguns desses indícios: (i) em 1913, Paul Rabe anuncia a conversão, via NaOBr/NaOEt, da dihidrocinchotoxina a dihidrocinchonidinona, em equilíbrio com seu epímero dihidrocinchoninona, de maneira análoga à relação quinotoxina – quinidinona/quininona; (ii) em 1913 e 1917, Kaufmann e colaboradores desenvolveram a mesma conversão, utilizando Br₂ / 48% HBr como agente de bromação, seguindo a ciclização em NaOEt; (iii) Ludwickzakówna, entre 1948 e 1949, promoveu reações análogas, mas introduzindo proteção aos grupamentos vinila.

As evidências acima apresentadas referem-se às etapas de bromação e ciclização. No que se refere à redução para obtenção dos epímeros, dentre os quais figura a almejada quinina, foi somente em 1932, em trabalho de apresentação de dados experimentais de cerca de 30 anos de pesquisas, que Rabe se propôs a esclarecê-la. Ainda assim, as explicações referentes à redução com alumínio remetem à redução da hidrocichoninona e não da quininona, como publicado em 1918. Tal redução foi retomada em 1973 por Gutzwiller e Uskoković, utilizando o hidreto de diisobutilalumínio (DIBAL-H) como agente redutor. Cabe destacar que, para essa redução, foi obtido rendimento de 94% de quinidina (Gutzwiller & Uskoković, 1973; Seeman, 2007).

A síntese total (formal) da quinina

Os anos se passaram e, apesar da ainda persistente falta de detalhamento experimental da síntese desenvolvida em 1918, Rabe e Kindler, especialmente o primeiro, eram referências

intelectuais no que se referia ao estudo dos alcalóides da *Cinchona*. A produção industrial da quinina, no entanto, ainda não era possível, em razão de se tratar de uma síntese parcial, que tinha como precursor uma substância que só poderia ser obtida a partir da própria quinina (quinotoxina).

A malária, como mal presente desde os primórdios da humanidade e até hoje persistente em algumas regiões, continuava a fazer vítimas e a preocupar as agências de saúde. Um trabalho apresentado durante o IV Congresso da Associação Médica Panamericana, ocorrido em Dallas (Texas, EUA) em 1933, continha a seguinte citação, retirada de um então recente relatório produzido pela *Organização para a Higiene da Liga das Nações*:

(...) apesar do contínuo aumento do número de casos tratados nos últimos 10 anos, o consumo de quinina ainda se encontra muito abaixo do mínimo necessário para permitir o tratamento dos casos [de malária] conhecidos. Para se convencer disso, basta comparar as quantidades importadas pelos Governos no ano passado, ou seja, 156.280.000 kg, com a [quantidade] que se considera necessária para o tratamento de todos os enfermos, a qual sobe para 1.172.180.000 kg (Shattuck, 1933, p. 932).

O processo de importação ao qual se refere o trecho acima remete à associação de produtores de cortiça e quina, criada em Amsterdã no ano de 1913, sob a denominação de *Kina-Bureau*. A já mencionada rápida destruição dos aportes de quina da América do Sul criou a necessidade do cultivo da árvore em outras regiões. O governo das Índias Holandesas (atual Indonésia) foi pioneiro nesse sentido, experimentando o cultivo da quina a partir de 1853. As indústrias privadas logo se inseriram nesse campo da produção, levando à superprodução, com conseqüente baixa dos preços e substituição de plantações de quina por outros gêneros de cultivo. Depois veio uma escassez de cortiça e logo os produtores de quina se apoderaram do mercado, seguidos pelos especuladores, sacrificando tanto produtores quanto consumidores (Shattuck, 1933). Como alternativa ao caos, o governo das Índias Holandesas criou a *Kina-Bureau*, buscando a estabilização do preço, o que de fato foi alcançado, salvo nos períodos de guerra.

Durante a Primeira Guerra Mundial, a *Kina-Bureau*, não podendo manter os preços estipulados, possibilitou a volta dos especuladores, que passaram a vender a quinina a preços exorbitantes. No caso da Segunda Grande Guerra, a situação foi ainda mais grave. Com a tomada das Índias Holandesas pelos japoneses, os países Aliados tiveram interrompido o suprimento de quinina, justamente em um período que o mesmo assumia importância vital para esses países.

A quinina, no entanto, não tinha a Medicina como único campo de aplicação. A *Polaroid Corporation*, multinacional fundada em 1937, também tinha interesse na substância, que tinha participação no processo de fabricação de material polarizante. Foi assim que Edwin Land, presidente da *Polaroid* na ocasião, contratou Robert Burns Woodward, então estudante de Harvard. Nascido em 10 de abril de 1917, Woodward foi contratado como consultor da corporação para investigar novos materiais polarizantes, absorventes de luz e plásticos ópticos, recebendo a quantia de mil dólares pelo período de um ano, a começar em 01 de junho de 1942 (Seeman, 2007). Ainda segundo os levantamentos feitos por Seeman (2007), o contrato de consultoria foi revisado, sendo o pagamento anual aumentado para 4 mil dólares. Para trabalhar como seu assistente de laboratório, Woodward convidou William von Eggers Doering, também estudante de Harvard à época.

O resultado mais memorável dessa parceria foi o anúncio da tão almejada síntese total da quinina. Tal anúncio foi feito, primeiramente, na forma de breve comunicação na edição de maio de 1944 do *Journal of the American Chemical Society* (Woodward & Doering, 1944). Maiores detalhamentos experimentais foram fornecidos somente um ano depois, em publicação no mesmo periódico sob o título de “The Total Synthesis of Quinine” (Woodward & Doering, 1945). Tal notícia foi recebida com entusiasmo mundial e, em especial, pela sociedade norte-americana, cuja população e imprensa saudaram os pesquisadores como verdadeiros heróis de guerra – pois a possibilidade de fabricação desse importante medicamento foi vista como uma vitória estratégica (Seeman, 2007).

A síntese proposta por Woodward-Doering se baseou na busca de possibilidades de obtenção da quinotoxina, precursora da quinina na síntese de Rabe-Kindler (1918) em laboratório. Resultados experimentais anteriores demonstravam que a condensação do quininato de etila com ésteres adequados poderia levar a substâncias pertencentes à classe das toxinas de *Cinchona* (quinotoxinas), as quais poderiam ser convertidas aos alcalóides da *Cinchona*. A dificuldade, porém, estava em conseguir ésteres que possuíssem o esqueleto quinuclidina presente na quinina. Nessa direção, Pröstenik e Prelog propuseram, em 1943, a síntese do homomeroquineno (ácido 3-vinil-4-piperidina propiônico) a partir da cinchonina (de origem natural), e sua conversão a quinotoxina (Pröstenik & Prelog, 1943) por um processo proposto por Rabe e Kindler em 1919. Nesse contexto, Woodward e Doering propuseram a síntese total da quinina com a síntese do homomeroquineno a partir da 7-hidroxi-isoquinolina, substância que, além de possuir quase todo o esqueleto carbono/nitrogênio do homomeroquineno, já havia sido sintetizada por Fritsch em 1895

(Woodward & Doering, 1945). Segue esquema dos trabalhos desenvolvidos pelos autores acima mencionados:

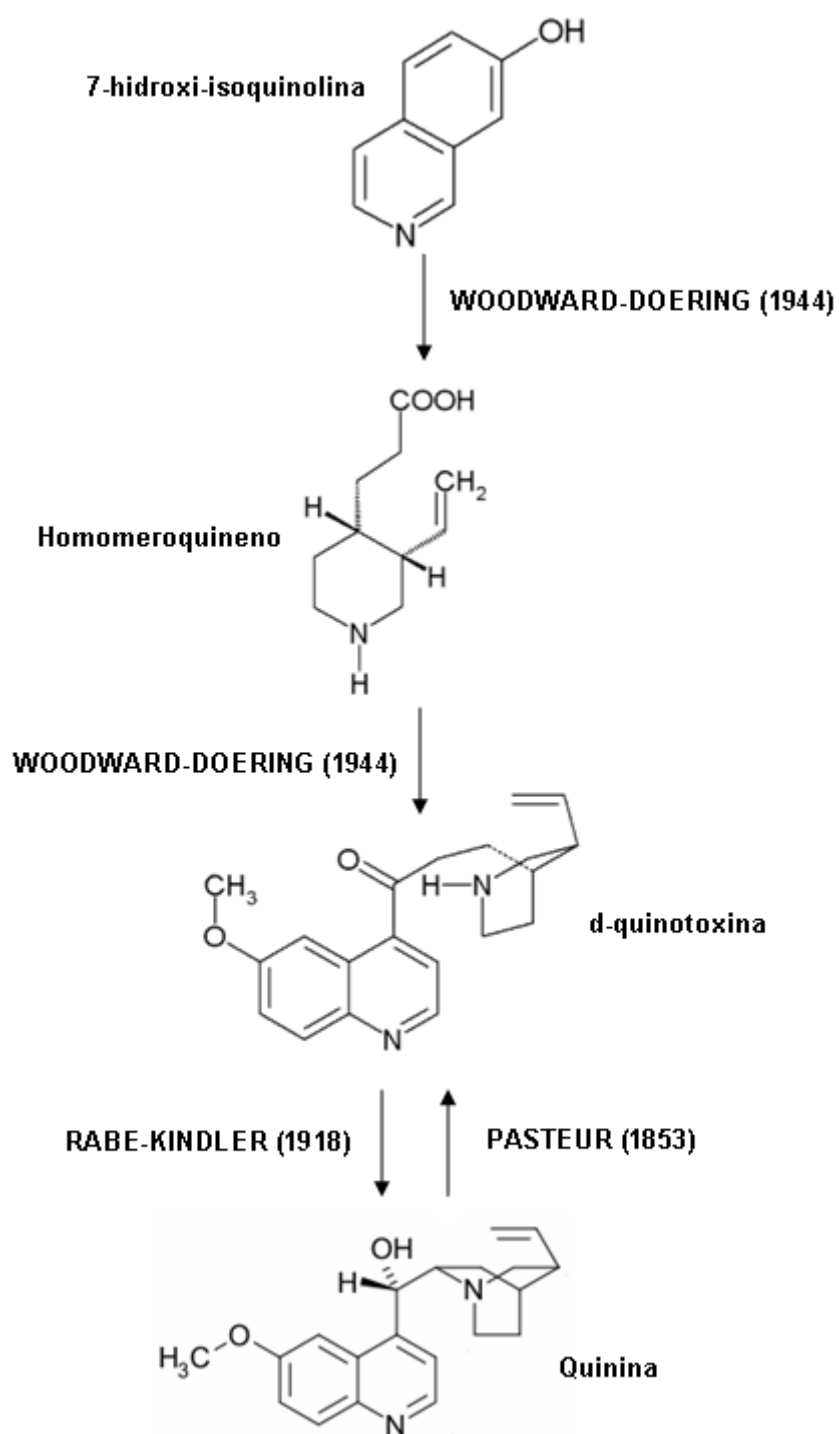


Figura 30. Representação esquemática da síntese total (formal) da quinina, proposta por Woodward e Doering em 1944.

A Figura 30 permite observar que as etapas *efetivamente* conduzidas por Woodward e Doering em seu laboratório foram a conversão da 7-hidroxi-isoquinolina a homomeroquineno, etapa inovadora e defendida como concluinte da síntese total da quinina, e a obtenção da d-quinotoxina a partir do homomeroquineno, reproduzindo o que havia sido proposto por Pröstenik e Prelog em 1943. A última etapa, de obtenção propriamente dita da quinina, não foi realizada pelas mãos de Woodward e Doering – os quais, após a descrição experimental da obtenção da d-quinotoxina, concluíram em seu artigo de 1945:

Frente à já estabelecida conversão da quinotoxina a quinina [*conforme a publicação de Rabe e Kindler em 1918*], com a síntese da quinotoxina, a síntese total da quinina foi completada (Woodward & Doering, 1945, p. 868).

Esse pressuposto final, que baseou o feito divulgado em 1945, não foi alvo de críticas ou questionamentos pela comunidade acadêmica em geral, salvo pela figura de Gilbert Stork, à época estudante de graduação na Universidade de Wisconsin.

As críticas de Gilbert Stork

O interesse de Gilbert Stork, nascido a 31 de dezembro de 1921, pela síntese da quinina, teve início entre os anos de 1940 e 1941, em razão de sua colaboração com os trabalhos de Samuel M. McElvain, então estudante de pós-graduação em Wisconsin, com quem publicou seu primeiro trabalho relacionado à síntese da quinina em 1946 (Seeman, 2007).

À época da publicação de Woodward e Doering, as críticas de Stork recaíam principalmente sobre a não obtenção (concretamente falando) da quinina em Harvard, e sobre os baixos rendimentos obtidos, tanto nas etapas propostas em 1918, como nas realizadas em 1945. Com o aprofundamento dos estudos envolvendo a estereoquímica a partir dos anos 1940, a falta de controle na formação dos diferentes isômeros da quinina (os quatro centros assimétricos presentes na molécula possibilitam a existência de 16 formas isoméricas) constituiu mais um importante foco dos questionamentos de Stork acerca da possibilidade de atribuição da síntese total da quinina a Woodward e Doering.

Mesmo que a configuração nos carbonos 8 e 9 da quinina só tenha sido elucidada em 1918, Rabe optou pela obtenção da quinina a partir de uma piperidina 3,4-dissubstituída, a quinotoxina. Como mencionado, 25 anos mais tarde, Pröstenik e Prelog (1943) demonstraram que o homomeroquineno obtido a partir da decomposição da quinotoxina poderia ser reconvertido na espécie química que lhe deu origem. Em 1944, o posicionamento “cis” dos grupamentos vinila e ácido propiônico nos carbonos 3 e 4 do anel piperidina do

homomeroquineno foi estabelecido. Apesar disso, a síntese de Woodward-Doering não foi estereosseletiva, e produziu os precursores do homomeroquineno como uma mistura de isômeros “cis” e “trans” praticamente na proporção de 1:1 (Woodward & Doering, 1945).

Foi a partir de 1970 que ocorreu avanço significativo em direção à síntese estereosseletiva da quinina. Uskoković e colaboradores (1973) propuseram uma série de sínteses da quinina, nas quais o anel quinuclidina era formado pela ligação entre N-1 e C-8, processo denominado *conexão de Rabe*. Um problema com essa estratégia, porém, passou a ser a dificuldade de estereoespecificidade ou, ao menos, alta estereosseletividade, em C-8 e C-9, de forma que mesmo as reações com maior controle estereoquímico levavam sempre a misturas de quinina e quinidina em quantidades iguais.

Uma observação muito importante feita pelo grupo de Uskoković (1973), porém, foi a de que uma mistura 1:1 de desoxiquinina e desoxiquinidina (epímeros em C-8) poderia ser oxidada a uma mistura constituída por apenas dois dos quatro álcoois secundários possíveis: quinina e quinidina. Outra observação importante foi a possibilidade de reconversão da desoxiquinina purificada (a partir da desoxigenação em C-9 da quinina natural) em quinina, sob condições de oxidação adequadas (Uskoković *et alii*, 1973). Nesse novo contexto, a síntese estereosseletiva da quinina seria finalmente possível se uma síntese estereosseletiva da desoxiquinina fosse desenvolvida. Esse passou a ser o objetivo de Gilbert Stork.

Em 2001, 57 anos após a síntese de Woodward-Doering, Stork publicou, também no *Journal of the American Chemical Society*, seu artigo intitulado “The first stereoselective total synthesis of quinine” (Stork *et alii*, 2001). Nesse artigo, Stork e seus colaboradores propuseram uma síntese inteiramente estereosseletiva da quinina, permeando seu texto com algumas considerações sobre episódios históricos, recurso que foi deixando muito claro o posicionamento dos autores em relação à síntese anunciada em 1944. No trecho abaixo, Stork e seus colaboradores argumentam que

Woodward e Doering não afirmaram ter confirmado o curto relato de 1918 feito por Rabe, que teria conseguido converter a quinotoxina em quinina (embora não esteja claro em quê se basearam para caracterizar o relato de Rabe como “já estabelecido”). Tampouco existem evidências de que Woodward e Doering produziram qualquer quantidade de quinina em seus próprios laboratórios. Mas eram tempos de guerra, e os EUA foram privados de sua principal fonte de casca de chinchona, as Índias Orientais Holandesas. A ansiedade resultante pode explicar as narrativas da imprensa, que se destacam pelo entusiasmo em lugar da análise sóbria, e que criaram a impressão quase universal de que a obtenção do

homomeroquineno em 1944 significava que a quinina havia sido sintetizada (Stork *et alii*, 2001, p. 3240).

A publicação de 2001, e o enfático combate de Stork à atribuição da primeira síntese da quinina aos pesquisadores de Harvard, fez com que a síntese de 1944 passasse a ser considerada um “mito” por alguns químicos, o que fica evidente no editorial de 07 de maio de 2001 do periódico *Chemistry & Engineering News*:

Muitas pessoas acreditam que os químicos da Universidade de Harvard, Robert B. Woodward e William von Eggers Doering, alcançaram a síntese da quinina em 1944. Ajudados e estimulados pelo New York Times e o Science News Letter, essa idéia se tornou parte da literatura e foi reproduzida em muitas biografias, exposições e artigos. De fato, o que os cientistas de Harvard sintetizaram foi um intermediário, distante em muitos passos da quinina (Jacobs, 2001).

O fato é que, apesar das críticas sofridas pela falta de detalhamento experimental no trabalho de Rabe e Kindler, e apesar das críticas pelo apontado “excesso de confiança” de Woodward e Doering, nem mesmo Stork tentou reproduzir o protocolo de 1918, sob a justificativa de que, considerado os baixíssimos rendimentos e a falta de controle estereoquímico, a relação custo/benefício de tal reprodução seria excessivamente elevada (Seeman, 2007). Essa situação, porém, foi modificada em 2008, com o trabalho desenvolvido por Smith e Williams, ambos da Universidade do Colorado (EUA), que se propuseram a retomar a controversa síntese de Rabe e Kindler.

Rabe e Kindler revisitados

Envolvidos com uma nova aproximação para a síntese da quinina e outros alcalóides da *Cinchona*, baseada em reações S_N2 intramoleculares em C3/C4, Smith e Williams (2008), motivados pela controvérsia envolvendo a síntese da quinina e pelo aniversário de 90 anos de Doering, iniciaram empreitada visando visitar a semi-síntese proposta em 1918 sob a perspectiva de pesquisadores do século XXI. Apesar do título do artigo resultante da proposta (que pode ser traduzido como “Rabe descansa em paz: confirmação da conversão de d-quinotoxina a quinina de Rabe-Kindler”) já confirmar o sucesso na reprodução do protocolo de 1918, a leitura do texto revela informações muito interessantes sobre o assunto.

O procedimento desenvolvido por Smith e Williams (2008) encontra-se representado na Figura 31.

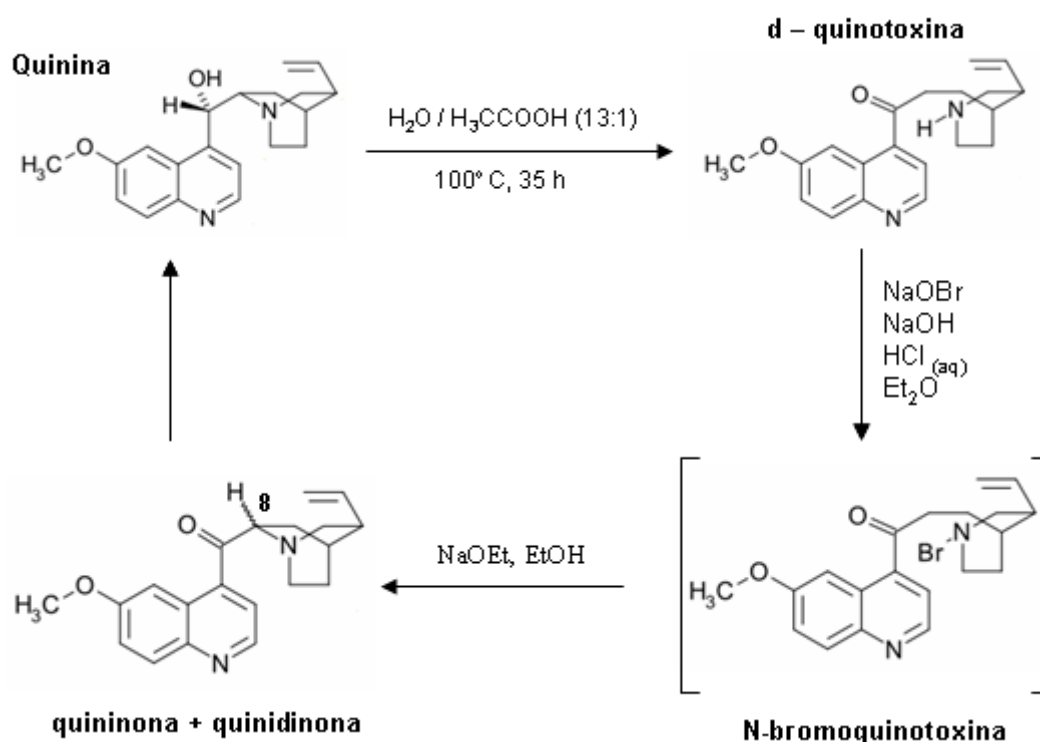


Figura 31. Esquema do procedimento de Smith e Williams para conversão da d-quinotoxina a quinina (Smith & Williams, 2008).

No procedimento acima, a d-quinotoxina foi preparada a partir de quinina comercialmente disponível de acordo com um método proposto por Biddle em 1912 (Biddle, 1912, *apud* Smith & Williams, 2008). A d-quinotoxina foi tratada com solução recém preparada de NaOBr, com formação de N-bromoquinotoxina, a qual se mostrou instável e resistente à purificação, motivo pelo qual foi submetida a solução de NaOEt em EtOH para ciclização, com produção da mistura de quininona e quinidinona. Smith e Williams concluíram, da mesma forma que pesquisadores anteriores, que o que Rabe e Kindler supuseram ser a quininona era, na verdade, seu epímero menos solúvel, a quinidinona que, quando dissolvida, epimeriza espontaneamente na posição α em relação à cetona, estabelecendo o equilíbrio entre quinidinona e quininona. A mistura em equilíbrio, por sua vez, foi tratada por Smith e Williams com alumínio recém adquirido (Aldrich) e solução etanólica de NaOEt sob refluxo, para promoção da redução da carbonila, completando a sequência de reações proposta por Rabe e Kindler.

Smith e Williams se surpreenderam, no entanto, quando a análise por ressonância magnética nuclear, método empregado na identificação e quantificação dos produtos obtidos, revelou apenas quantidade traço de quinina, em contraposição ao rendimento de 12%

declarado por Rabe e Kindler em 1918. Intrigados não apenas com o baixíssimo rendimento da reação, mas também com o fato de que o isolamento da quantidade de quinina relatado por Rabe e Kindler dependeria de técnicas que não existiam nem em 1918 nem em 1944, Smith e Williams optaram pela proposição de outros sistemas para redução da mistura quinona / quinidina a quinina. Assim, como sistemas redutores foram empregados: (1) hidreto de diisobutilalumínio (DIBAL-H) em benzeno – obtendo rendimento de 33% em quinina; (2) solução etanólica de borohidreto de sódio (NaBH_4 , EtOH) – com rendimento de 4%; (3) alumínio em pó recém adquirido (Lote A) + NaOEt/EtOH – quinina em quantidade traço; (4) alumínio em pó recém adquirido (Lote B) + NaOEt/EtOH – rendimento de 16% em quinina; (5) alumínio em pó recém adquirido (Lote A) + Al_2O_3 + NaOEt/EtOH – 14%; (6) alumínio em pó recém adquirido (Lote A) submetido a aeração por 72h + NaOEt/EtOH – 13%; (7) alumínio em pó recém adquirido (Lote A) submetido a aeração por 72h + NaOMe/MeOH – 4%; (8) alumínio em pó recém adquirido (Lote A) submetido a sonicação + NaOEt/EtOH – 12%; (9) alumínio em pó recém adquirido (Lote A) submetido a aeração por 72h + Na(OiPr)/iPrOH – 15%; (10) $\text{Al}(\text{OiPr})_3$ / iPrOH – 16%; (11 a 13) hidreto de lítio e alumínio (LiAlH_4) em éter a diferentes temperaturas – quinina em quantidade traço.

A observação dos rendimentos obtidos com a utilização dos diferentes sistemas redutores sugere que a presença de íons Al^{3+} é responsável por aumento significativo no rendimento referente à obtenção de quinina. A extensão em que esse fato afetou as observações de Rabe e Kindler não pode ser avaliada, uma vez que é impossível, agora, determinar a origem do alumínio utilizado por Rabe e Kindler, ou o grau de pureza dos reagentes empregados em seu trabalho.

Cabe destacar, ainda, algumas dificuldades enfrentadas por Smith e Williams no trabalho de 2008. Contradizendo o descrito por Rabe e Kindler, a N-bromoquinotoxina mostrou-se bastante instável, motivo pelo qual foi prontamente utilizada na etapa posterior, sem purificação (via cristalização, segundo Rabe e Kindler) prévia. A cristalização também não se mostrou eficiente na separação da mistura quinona/quinidina. Os autores mencionam, ainda, que a etapa de mais difícil reprodução foi o isolamento da quinina a partir do meio reacional após a redução, o qual só foi possível a partir de cromatografia em sílica gel, técnica não disponível em 1918.

Apesar das dificuldades mencionadas, os autores afirmam ter validado não só a semi-síntese de Rabe-Kindler, mas também a síntese total formal de Woodward-Doering, aparentemente encerrando, de acordo com Philip Ball (2008), “um capítulo dessa fascinante história”.

A síntese da quinina como tema gerador para o ensino de química

O estudo de caso aqui desenvolvido abre possibilidades para reflexões sobre diferentes nuances do empreendimento científico. Neste tópico são propostos alguns temas e reflexões que poderiam ter, no episódio da síntese da quinina, um ponto de partida interessante.

Toda história deve ser lida e entendida a partir de seu contexto. Assim, os contextos de produção acadêmica de Rabe-Kindler, Woodward-Doering e, finalmente, de Stork, eram distintos na medida em que se deram em momentos históricos diferentes, não só no que se refere ao “estado da arte” em química sintética nos referidos períodos, mas também no que tange aos acontecimentos sociais, econômicos e políticos mundiais. Não seria adequado, portanto, julgar Rabe e Kindler por uma falta de especificidade estereoquímica em sua semi-síntese da quinina com base em referenciais que só vieram a se desenvolver mais de 20 anos depois de sua proposta. O conhecimento científico é, portanto, **histórico** e deve ser avaliado considerando o contexto em que foi construído.

As críticas associadas à falta de detalhamento experimental no trabalho de 1918 abrem espaço à discussão de outro ponto: a divulgação do conhecimento científico e sua autoridade. O trabalho submetido para publicação pelos pesquisadores alemães em 1918 passou, indiscutivelmente, pela avaliação de seus pares e foi considerado relevante a ponto de merecer seu compartilhamento com a comunidade acadêmica internacional e servir como referência a outros trabalhos desenvolvidos na área. O mesmo processo, sem dúvida, também ocorreu com Woodward e Doering. A política de revisão por pares, e a própria publicação, destacam o caráter **social** da produção científica, evidenciado não somente, como nesse caso, na troca de informações via periódicos científicos, mas também nas interações pessoais desenvolvidas em encontros e reuniões dos membros de determinada área.

Outro ponto de destaque acerca da construção e divulgação de conhecimento científico pode ser exemplificado, neste episódio, pela figura de Stork e suas severas críticas à não reprodução do protocolo de Rabe e Kindler (1918) por Woodward e Doering em 1944. Ainda que não se pretenda, aqui, estabelecer qualquer postura como definitiva, uma reflexão acerca da **legitimação do conhecimento** se faz relevante neste caso. Como definir o que é ou não conhecimento validado, ou o que pode ou não ser referenciado? Woodward e Doering foram saudados como “heróis nacionais” nos EUA após o anúncio de seu trabalho em 1944, o qual foi usado na ocasião como propaganda de guerra. Entretanto, após a publicação de Stork em 2001, o feito de Woodward e Doering foi acusado de ser um “mito”. Em nova reviravolta, as reputações de Rabe, Kindler, Woodward e Doering foram salvas por cientistas que se

dispuseram a defendê-las, nos artigos publicados por Seeman e por Smith e Williams. Seeman analisou documentos originais e concluiu que nenhum dos quatro autores poderia ser acusado de imperícia científica, engano, fraude ou incompetência. Smith e Williams, por sua vez, foram ao laboratório para reproduzir os experimentos de Rabe e Kindler, fornecendo evidências de que os resultados publicados pelos químicos alemães eram confiáveis. Este estudo de caso mostra claramente que o conceito de legitimidade é altamente subjetivo e específico para diferentes eras, sociedades, culturas e lugares. Os periódicos científicos são de particular importância a este respeito, e se constituem, de acordo com Lyman (1997), na principal infraestrutura da comunidade científica.³⁶

O contexto da divulgação da síntese total (formal) da quinina em 1944 fornece, também, boas oportunidades de reflexão sobre a **não neutralidade** da ciência. Como mencionado ao longo do texto, eram tempos de guerra nos quais a quinina era substância de interesse comercial e político indiscutível. Portanto, a proposição de uma rota para sua síntese significaria, para o país onde fora desenvolvida, muito mais do que a possibilidade de tratamento de seus soldados. Embora os interesses econômicos da *Polaroid Corporation* possam parecer extracientíficos, a parceria entre o capital privado e a mão de obra universitária contribuiu indiscutivelmente para o avanço do conhecimento em síntese orgânica. A ciência e os cientistas não estão, portanto, acima e indiferentes às tendências e pressões decorrentes das demais esferas sociais, sendo por elas influenciadas e, em alguns casos, determinadas. Durante períodos de guerra, tais pressões podem ser especialmente poderosas, e ficar mais evidentes.

Finalmente, mas não menos importante, pode-se destacar a **flexibilidade** do empreendimento científico, no sentido de que o conhecimento pode ser construído na busca de soluções a um problema, ainda que não esteja diretamente a ele relacionado. Exemplo bastante ilustrativo é a síntese da mauveína, proposta por Perkin em 1856, quando tentava chegar, de fato, à síntese da quinina. Este caso pode ser usado como um contraexemplo à visão rígida e distorcida da ciência baseada em um método científico que deve ser seguido mecanicamente, no qual não há lugar para a criatividade, invenção ou dúvida – como apontam Fernandez e colaboradores (2002).

Um trecho do trabalho de Andriolli (2003) se mostra apropriado para resumir e relacionar as ideias desenvolvidas neste tópico:

³⁶ Sobre a questão da legitimidade do conhecimento científico e seus aspectos sociais, vide, por exemplo, Kuhn (1970), Ziman (1984), Lyotard (1984), Latour (1987) e Fourez (1995).

A ciência não está isolada do mundo, e os fenômenos sociais não podem ser explicados por leis naturais (...) Mesmo que não haja uma relação lógica direta entre fato e valor, há uma relação sociológica entre ambos, pois o conhecimento de um fato conduz a posições morais e políticas e esses valores estarão presentes para o pesquisador, o tempo todo, durante o processo científico (...) Como não há critério absoluto para medir a cientificidade do conhecimento, é através da publicidade crítica, no embate das idéias, que os resultados de uma pesquisa podem ser avaliados, tendo em vista sua correspondência com a realidade. Mas, mesmo que um conhecimento científico tenha sido aceito, ele deve permanecer em condições de ser refutado no momento em que outra leitura da realidade possa superá-lo. Ele não é, portanto, sinônimo da verdade ou um dogma, mas resultado provisório de uma investigação humana num determinado período histórico e social e, portanto, suscetível a todas as idéias e valores presentes na sociedade (Andriolli, 2003).³⁷

³⁷ O Estudo de Caso IV foi baseado em Souza e Porto, 2012b.

Estudo de Caso V: Midgley e o desenvolvimento de novas substâncias na primeira metade do século XX

Introdução

No presente estudo de caso, a tabela periódica é correlacionada com a atuação de químicos no sistema produtivo, e se pretende também propiciar reflexões sobre aspectos éticos relacionados à atividade química. Voltando nosso olhar para as primeiras décadas do século XX, encontramos os trabalhos de Thomas Midgley Jr. (1889-1944), que utilizou a tabela periódica para orientar a produção de novas substâncias que atendessem à crescente demanda do setor industrial.

Scerri (2007) destacou recentemente a importância da tabela periódica para a atividade do químico e seu ensino, enquanto Brito, Rodriguez e Niaz (2005) mostraram algumas implicações do enfoque histórico para o ensino da tabela periódica. Este estudo de caso procura mostrar a importância decisiva da tabela periódica para a trajetória profissional de Midgley, o que pode servir de inspiração para professores de química formularem maneiras de ajudar seus alunos a compreender o significado e a utilidade desse instrumento de trabalho dos químicos. O segundo aspecto destacado aqui se refere à ética associada à química. A importância de discussões a respeito da ética na formação de profissionais de química já foi destacada por Coppola e Smith (1996), Kovac (1996, 2000) e Sjöström (2007). Dentre as várias questões éticas suscitadas pelo exercício das atividades em química, este estudo de caso desperta reflexões a respeito de como lidar com os riscos oferecidos pela manipulação das substâncias – especialmente quando o químico está diante de novas substâncias que podem ter aplicações práticas, mas cujos riscos potenciais podem ainda não ser conhecidos. Assim, o caso aqui apresentado poderá auxiliar os professores a ampliar e enriquecer sua visão a respeito da química como ciência e como profissão.

O crescimento do conhecimento químico

Uma evidência dos avanços da química no século XX é oferecida pelo exponencial crescimento do número de novas substâncias sintetizadas: se, no início do século XIX, somente algumas dezenas de substâncias estavam catalogadas, ao final do século XX esse número cresceu para cerca de 19 milhões de substâncias (Schummer, 1999). Para entender as razões desse espetacular aumento, é necessário considerar a situação da química no começo do século XX. Com a expansão industrial desse período, novas substâncias passaram a ser

necessárias para suprir exigências tecnológicas emergentes, o que fez a química ser vista, na época, como um “passaporte para um futuro melhor” (Midgley, 1935). A química definitivamente se institucionalizou na forma de pesquisa industrial, voltada para a criação e produção comercial de novos materiais (Mauskopf, 1993).

Ao abordar o contexto do desenvolvimento de novas substâncias, é pertinente ressaltar a figura de Midgley. Engenheiro mecânico de formação, Midgley foi protagonista na produção de novos compostos, como os CFCs e o tetraetilchumbo, que se apresentaram como soluções para problemas prementes da indústria. A maneira como Midgley e colaboradores chegaram a esses compostos aponta para uma intensa reflexão acerca da periodicidade das propriedades dos elementos.

Desenvolvimento de novas substâncias: o caso do tetraetilchumbo

Considerando inicialmente o tetraetilchumbo, a escolha desse composto ocorreu a partir de pesquisas envolvendo novos antidetonantes para a indústria de combustíveis, iniciadas no final da década de 1910. Como a gasolina empregada até então era de baixa octanagem, os motores apresentavam baixa taxa de compressão, e com isso o consumo de combustível pelos veículos era elevado. O interesse da indústria automobilística dos EUA era encontrar uma forma de melhorar a qualidade da gasolina, e ao mesmo tempo garantir a oferta de um combustível que tivesse as mesmas propriedades em todo o território nacional. Nesse contexto, Midgley e colaboradores, que então trabalhavam para a *General Motors*, passaram a investigar qual seria a forma mais conveniente de aumentar a octanagem da gasolina, por meio da adição de um antidetonante. Essa substância deveria ter baixo custo, poucos efeitos deletérios ao motor e alta eficiência. Como ponto de partida na busca pelo antidetonante almejado, Midgley passou a testar em laboratório aquela que foi chamada, posteriormente, de “hipótese do *trailing arbutus*³⁸” (McGraine, 2002). Midgley conhecia o fato de que o *trailing arbutus* era uma planta capaz de formar flores mesmo sob a neve, e supôs que isso seria possível em função da coloração avermelhada da parte inferior de suas folhas, a qual supostamente permitiria a absorção de calor do Sol. Desse modo, conjecturou Midgley, a adição de uma substância vermelha à gasolina talvez levasse à absorção da radiação da chama dentro do cilindro do motor, fazendo com que a gasolina vaporizasse lentamente. Seguindo essa linha de raciocínio, o iodo – que apresenta coloração avermelhada em solução orgânica –

³⁸ *Trailing arbutus* é o nome comum, nos países de língua inglesa, da planta identificada pelo nome sistemático de *Epigaea repens*. Não conseguimos identificar a existência de um nome usual para esse vegetal em português.

foi testado, e suas propriedades atenderam às expectativas: o iodo se comportava como antidetonante. Entretanto, além da toxicidade de seus fumos, e do fato de seus resíduos serem capazes de corroer e obstruir o motor, a adição de iodo na gasolina acarretaria em um aumento considerável no seu preço. Em vista disso, o iodo, apesar de ser um antidetonante, não apresentava as propriedades adequadas para ser adicionado em combustíveis. Mas essas características não estavam relacionadas à validade ou não hipótese do *trailing arbutus*. Visando verificar se a propriedade antidetonante estava vinculada à coloração vermelha do soluto, Midgley procedeu a testes com diversos compostos. Seus experimentos mostraram que o iodeto de etila, incolor, também era um antidetonante (com desvantagens similares às do iodo), mas que corantes vermelhos, diluídos em querosene, não eram antidetonantes. A partir dessas constatações, Midgley deu início a um processo de busca por antidetonantes que não apresentassem iodo em sua composição.

Após sucessivos experimentos aleatórios, baseados em tentativas e erros, Midgley observou que a anilina era um antidetonante mais efetivo que o iodo. Obtida facilmente do índigo, o custo da anilina no processo seria consideravelmente baixo. Não obstante essas vantagens aparentes, sua ação corrosiva frente a metais, e o odor desagradável, impediam que a anilina fosse utilizada em escala comercial. Realizando mais testes, dessa vez sintetizando compostos com os grupos etila e fenila, Midgley observou propriedades antidetonantes no dietilselênio e no dietiltelúrio. Novamente, porém, a questão do odor impossibilitava o emprego dessas substâncias. Apesar desses resultados desestimulantes à primeira vista, estreitas relações com a periodicidade das propriedades dos elementos foram percebidas. Isso foi posteriormente mostrado por Midgley, de maneira didática, registrando em um gráfico o efeito antidetonante das substâncias em função do número atômico do elemento que estava unido à cadeia carbônica respectiva (Figura 32).

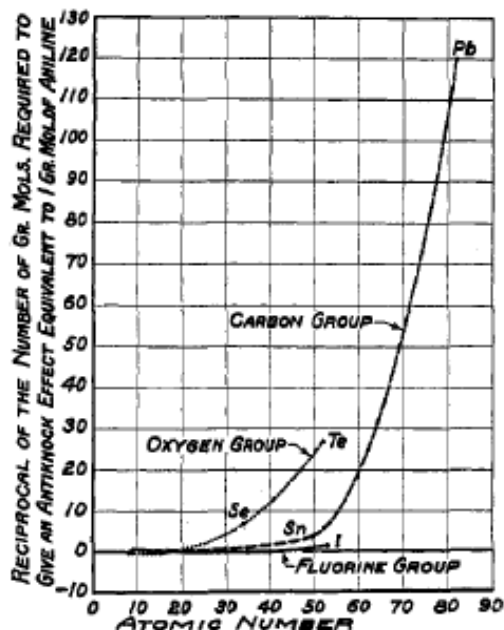


Figura 32. Gráfico utilizado por Midgley para ilustrar o efeito antidetonante de vários compostos, comparando a influência de elementos pertencentes a diferentes grupos da tabela periódica (Midgley, 1937, p. 344).

Sobre essa mudança na metodologia de investigação, da tentativa e erro para os testes orientados pela tabela periódica dos elementos, Midgley escreveu:

Com esses fatos diante de nós, lucrámos em abandonar o método de Edson [*i.e.*, *tentativa e erro*] em favor de um procedimento correlativo, baseado na tabela periódica. O que tinha parecido, algumas vezes, uma busca inútil, levando muitos anos e custando uma considerável soma de dinheiro, rapidamente se tornou uma “caça à raposa”. Previsões começavam a ser cumpridas em vez de fracassarem (Midgley, 1937, p. 242).

Assim, a tabela periódica começou a ser empregada para prever a composição de novos possíveis antidetonantes a serem testados. Seguindo a tabela (Figura 33), foram testados compostos dos elementos do grupo do nitrogênio e do carbono. Nessa sequência, os compostos de estanho, especialmente o dietilestanho, se mostraram excelentes antidetonantes. Tais resultados, associados a considerações teóricas, apontavam que um composto contendo chumbo seria promissor em termos das propriedades desejadas. E assim, de fato, se observou que os resultados mais satisfatórios eram obtidos com o tetraetilchumbo (Garrett, 1962). O antidetonante idealizado havia sido produzido.

NUMBER OF VACANT SPACES IN OUTER SHELL

SHELL	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
I																																	
II a																																	
II b																																	
III a																																	
III b																																	
IV a																																	
IV b																																	

Figura 33. Tabela periódica baseada no sistema de Langmuir (Midgley, 1937, p. 243).

No que se refere à toxicidade do tetraetilchumbo, os males à saúde que esta substância poderia causar já eram bem conhecidos por médicos e químicos, há muito conhecedores dos problemas causados pelo envenenamento pelo chumbo e seus compostos. Mesmo conhecendo esses dados, Midgley acreditou que não existiria perigo concreto na utilização do tetraetilchumbo, pois essa substância deveria ser adicionada à gasolina em pequenas quantidades. Assim, os estudos para a produção em larga escala e comercialização do tetraetilchumbo tiveram continuidade, e em poucos anos esse aditivo passou a ser produzido em escala industrial por uma empresa criada para esse fim: a *Ethyl Corporation*, subsidiária da *General Motors* e da *Standard Oil*.

Em pouco tempo, começaram a ser observados casos de mortes e intoxicações de trabalhadores que atuavam na linha de produção do tetraetilchumbo. Para minimizar a pressão social crescente sobre o tetraetilchumbo, novas medidas de manipulação nas fábricas foram implementadas. Casos de envenenamento posteriores a essas medidas foram atribuídos à falta de cuidado dos operários que atuavam em sua produção. Midgley afirmou que “os perigos relativos ao tetraetilchumbo haviam sido controlados”, mas suas palavras não convenceram a muitos médicos. Havia claramente uma divergência entre a indústria química, interessada na utilização do tetraetilchumbo, e profissionais ligados à área de saúde que denunciavam os riscos associados ao uso dessa substância.

Buscando respaldo para seu produto, a *Ethyl Corporation* financiou uma equipe multidisciplinar, liderada pelo médico e pesquisador Robert Kehoe, para analisar os riscos do tetraetilchumbo. Em um dos estudos, jovens expostos ao contato com o tetraetilchumbo (pela ingestão e respiração), tiveram diagnosticada a presença de chumbo na urina e nas fezes. Diante desses resultados, Kehoe concluiu que o chumbo não estava sendo acumulado em quantidades significativas pelo organismo humano. Mesmo que tais resultados favoráveis não tenham contado com a concordância de toda a comunidade médica, o tetraetilchumbo

continuou a ser empregado como aditivo na gasolina até o final da década de 1970, quando começou a ser proscrito³⁹.

Um novo desafio: a indústria da refrigeração e os CFCs

No final da década de 1920, Midgley já possuía uma carreira de destaque: era vice-presidente da *Ethyl Corporation* e consultor da *General Motors*. Considerado grande especialista na solução de problemas da indústria química, Midgley recebeu outra missão complexa: encontrar um novo fluido para ser empregado na indústria de refrigeração.

Nessa época, os fluidos utilizados podiam ocasionar graves acidentes (explosões e intoxicações), o que inibia o uso dos aparelhos de refrigeração em residências e em locais onde havia grande fluxo de pessoas. Logo, havia a demanda por um fluido refrigerante que fosse, ao mesmo tempo, não tóxico, não inflamável, barato e com as propriedades de engenharia adequadas (isto é, este fluido deveria liquefazer facilmente com o aumento de pressão, sem necessidade do emprego de temperaturas muito baixas, absorvendo energia do ambiente para retornar ao estado gasoso).

Tabela 18. Comparação de propriedades relevantes para a construção de refrigeradores, para algumas substâncias usadas com essa finalidade na década de 1920 (Midgley, 1930, p. 542).

Fluidos	Propriedades de engenharia	Inflamabilidade	Toxicidade
Ar	Não liquefaz	OK	OK
Dióxido de carbono	Pressão de vapor excessiva	OK	OK
Água	Requer pressões muito pequenas	OK	OK
Amônia	OK	Ligeiramente inflamável	Tóxico, mas facilmente perceptível
Dióxido de enxofre	OK	OK	Tóxico, mas facilmente perceptível
Cloreto de metila	OK	Ligeiramente inflamável	Tóxico e não perceptível
Brometo de metila	Requer baixas pressões	Ligeiramente inflamável	Tóxico e não perceptível
Butano	OK	Muito inflamável	OK

³⁹ A EPA (*Environmental Protection Agency*), agência federal estadunidense criada por Richard Nixon em 1970, exerceu fortes pressões contra a fabricação do tetraetilchumbo desde a sua fundação.

A Tabela 18, reproduzida de um artigo escrito por Midgley em 1930, traz uma comparação entre algumas propriedades relevantes de substâncias então usadas como fluidos em refrigeradores. Analisando cada um dos fluidos listados, percebe-se que nenhum deles satisfazia simultaneamente os requisitos desejados para as três propriedades destacadas: 1) propriedades de engenharia (abrangendo estabilidade, não corrosividade e pressão de vapor apropriada); 2) inflamabilidade; e 3) toxicidade. Disposto a enfrentar esse problema, Midgley e colaboradores iniciaram uma investigação buscando novos fluidos que pudessem substituir aqueles até então utilizados (McGraine, 2002).

Observando a tabela periódica segundo a organização de Langmuir (Figura 33), Midgley rapidamente percebeu que os elementos químicos, cujos compostos apresentavam pontos de ebulição situados na faixa adequada para serem usados como fluidos de refrigeração, estavam situados no lado direito da tabela. Com relação à toxicidade, observou que, de modo geral, essa propriedade diminuía dos elementos mais “pesados” (situados na parte inferior da tabela) para os elementos mais “leves” (situados na parte superior da tabela). A inflamabilidade, por sua vez, diminuiria no sentido da esquerda para a direita da tabela periódica. Considerando essas observações em conjunto, Midgley concluiu que as tendências analisadas apontavam para o flúor, porém era sabido que a substância simples flúor era extremamente tóxica. Seguindo essa linha de raciocínio, Midgley e Albert L. Henne (1930) presumiram que o composto almejado poderia conter flúor em sua estrutura. A partir das propriedades físico-químicas do metano (CH_4), do tetrafluoreto de carbono (CF_4), do tetracloreto de carbono (CCl_4) e de outros organoclorados – Henne era um especialista em organoclorados – Midgley e Henne elaboraram diagramas relacionando o ponto de ebulição com a estabilidade, toxicidade e inflamabilidade desses compostos com os de vários haletos orgânicos. Uma dificuldade que encontraram no início da investigação esteve relacionada ao valor do ponto de ebulição do tetrafluoreto de carbono que encontraram nas tabelas disponíveis na literatura da época. O valor tabelado era de -15°C , muito superior ao que Midgley e Henne esperavam, considerando comparações com os pontos de ebulição de substâncias estruturalmente semelhantes. A estimativa da dupla era de que o valor correto estaria em torno de -136°C , o que faria do tetrafluoreto de carbono uma substância não adequada para ser usada como fluido para refrigeração. De fato, pouco depois, outros cientistas publicaram um valor corrigido para o tetrafluoreto de carbono: -128°C , o que mostrava que a estimativa feita por Midgley e Henne era boa, e que eles tinham razão em não acreditar que essa substância poderia ser utilizada para o propósito que buscavam.

Analisando a Figura 34 (também reproduzida de Midgley e Henne, 1930), percebe-se

que o CF_2Cl_2 e o CFCl_3 apresentam pontos de ebulição situados (aproximadamente) entre -30 e $+30^\circ\text{C}$, além de baixa inflamabilidade. Esses compostos apresentavam, portanto, algumas das propriedades desejadas, mas não havia dados na literatura a respeito de sua eventual toxicidade.

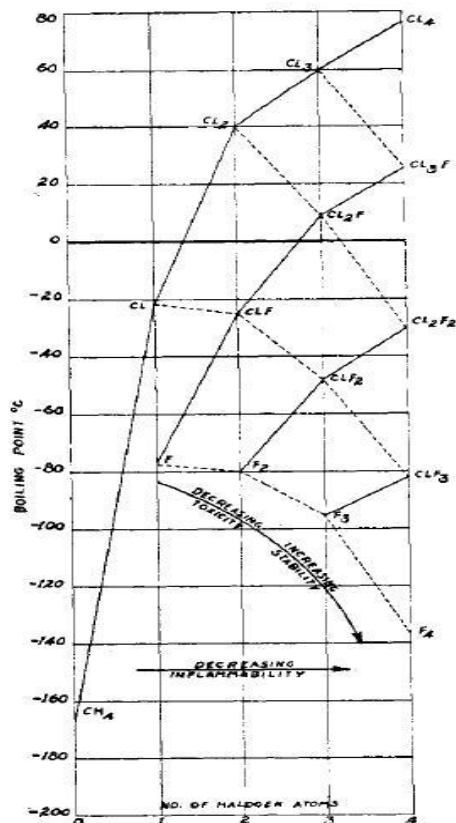
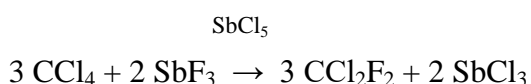


Figura 34. Diagrama comparando propriedades físico-químicas de diferentes CFCs (Midgley & Henne, 1930, p. 543). Observação: os átomos de carbono e hidrogênio não estão representados nas fórmulas.

Midgley e colaboradores trataram então de preparar amostras de CFCs para testar sua toxicidade. A equação química a seguir exemplifica o método usado por eles para preparar o CCl_2F_2 , a partir de CCl_4 e SbF_3 (Midgley & Henne, 1930):



Testando a toxicidade do CCl_2F_2 em cobaias, Midgley não percebeu nenhum efeito danoso à vida (Tabela 19). Com relação a essa propriedade, a vantagem do CCl_2F_2 em relação aos fluidos então usados em refrigeração era dramática. Midgley, Henne e sua equipe haviam encontrado a substância que precisavam, e o passo seguinte passou a ser viabilizar sua

produção e uso industriais.

Tabela 19. Toxicidade de substâncias usadas na indústria de refrigeradores (concentrações expressas em porcentagens em volume no ar) (Midgley, 1930, p. 544).

Gás	Provoca a morte de animais em um curto intervalo de tempo (%)	Oferece risco à vida no intervalo de 30 a 60 minutos (%)	Concentração máxima em que não oferece risco à vida por horas (%)
Amônia	0,5 a 1,0	0,25 a 0,45	0,01
Cloreto de metila	15 a 30	2 a 4	0,05 a 0,1
Dióxido de carbono	30	6 a 8	2 a 3
Diclorodifluorometano	Não disponível	80	40

Os nomes comerciais dos CFCs foram dados tomando por base a relação entre o número de átomos de carbono e flúor existente nas moléculas (por exemplo, o CFCl_3 passou a ser conhecido como CFC-11, e o CF_2Cl_2 foi denominado CFC-12).

Desse modo, percebe-se que os CFCs, assim como o tetraetilchumbo, começaram a ser produzidos em larga escala, dentro de um contexto em que os problemas ambientais decorrentes de seu uso não eram imaginados. Considerando os aspectos científicos e sócio-históricos envolvidos, os casos do desenvolvimento dos CFCs e do tetraetilchumbo se revelam como ricos em possibilidades para discussões no âmbito do ensino de química.

Os compostos de Midgley como estudo de caso para o ensino de química

Um dos aspectos mais curiosos no caso de Midgley é a maneira como esse engenheiro modificou sua abordagem para o desenvolvimento de novas substâncias químicas para a indústria. Inicialmente, ele se orientou por uma abordagem que pouco tinha a ver com a química moderna. Seu raciocínio foi por analogia: se os corantes vermelhos permitiam a retenção de calor pela planta chamada *trailing arbutus*, então talvez também pudessem aumentar a octanagem da gasolina. Seria como se houvesse um “princípio” responsável pela cor vermelha nos corpos, o qual seria também portador da propriedade de reter o calor. Midgley fez experimentos com muitos corantes, orientado apenas por essa ideia que poderíamos considerar como *quasi-alquímica*. Entretanto, sua abordagem se modificou radicalmente a partir do momento em que Midgley se apoderou do conhecimento sobre a tabela periódica e o empregou para a previsão de novos compostos com as propriedades desejadas. A relevância da tabela periódica como instrumento de trabalho para o químico moderno não pode ser minimizada. Conforme destacou Scerri (2007): “a tabela periódica dos

elementos é um dos mais importantes ícones em ciência: um documento simples que captura toda a essência da química de uma maneira elegante”.

A literatura mostra que a tabela periódica dos elementos já foi apresentada de muitas formas distintas (Scerri, 2007). Segundo Nelson (1988), a escolha de cada tabela depende do assunto a ser ensinado. Se, por exemplo, se pretende introduzir a tabela periódica a estudantes do ensino médio, uma primeira versão, mais baseada em propriedades macroscópicas das substâncias, e menos em conceitos abstratos, pode ser priorizada. Seguindo esse raciocínio, observa-se que a apresentação da tabela periódica organizada pelo sistema de Langmuir requer que os estudantes tenham algum conhecimento de estrutura atômica. Logo, o aprofundamento do estudo dessa tabela em particular poderia ser profícuo em níveis mais avançados de ensino; por exemplo, para a formação continuada de professores, ou mesmo para estudantes nos semestres mais avançados dos cursos de licenciatura.

Outro ponto relevante são os aspectos da natureza da ciência que afloram do estudo de caso acerca dos CFCs e do tetraetilchumbo. Focando no desenvolvimento desses compostos, pode-se discutir, dentre outros aspectos, que:

I) o conhecimento científico não é criado apenas como um fim em si mesmo, mas, muitas vezes, reflete a busca de soluções para problemas, sejam eles de natureza intelectual ou (como neste caso) de natureza prática;

II) a ciência não é feita de forma linear e acumulativa, mas pode tomar rumos inesperados. Neste caso, embora já existisse conhecimento sobre a toxicidade dos compostos de chumbo, os interesses econômicos parecem ter feito com que prevalecessem os estudos que minimizavam esses riscos;

III) uma perspectiva teórica alternativa pode ser bastante útil para o desenvolvimento de uma determinada área da ciência ou da tecnologia. A formação de Midgley era em engenharia mecânica, e suas primeiras tentativas para a produção de um antidetonante para a gasolina mostravam precário conhecimento da química moderna. Ao compreender a utilidade da tabela periódica, porém, sua abordagem para a questão se tornou muito mais eficaz;

IV) um dos aspectos mais característicos da química é a produção de novas substâncias e materiais que não existem na Natureza. Essa atividade se mostra intrinsecamente perigosa, exigindo dos químicos muita responsabilidade na sua atuação profissional. O caso em estudo mostra três dimensões do risco químico. O tetraetilchumbo oferecia risco para os trabalhadores diretamente expostos a ele em sua produção (risco individual), e também para as regiões onde o tráfego de veículos provocava a dispersão dos compostos de chumbo (risco ambiental local). Os CFCs, por sua vez, permaneciam intactos na baixa atmosfera; passaram-

se décadas até que os cientistas se dessem conta que os CFCs, ao difundirem até a estratosfera, provocavam a destruição da camada de ozônio – em um processo que, se não fosse interrompido, poderia colocar em perigo todas as formas de vida no planeta (risco ambiental global).

Uma possibilidade de trabalho com professores em formação inicial ou continuada seria a apresentação desse estudo de caso na forma de um texto ou aula, seguido por uma discussão. Para orientar essa atividade, algumas questões poderiam ser propostas na forma de uma folha de discussão, destinada a fomentar reflexões críticas sobre o texto. Seguem-se algumas sugestões de questões desse tipo:

a) Compare o modo como Midgley conduzia suas pesquisas antes e depois de passar a utilizar a tabela periódica. Em sua opinião, qual o papel da tabela periódica na atividade profissional dos químicos?

b) Você acha que o fato de o médico Robert Kehoe ser contratado pela *Ethyl Corporation* pode ter influenciado a opinião dele sobre os riscos oferecidos pelo tetraetilchumbo? Comente.

c) A *Ethyl Corporation* tinha interesse na comercialização do tetraetilchumbo, e realizou estudos científicos que apontavam para a segurança no uso dessa substância. Em sua opinião, deve haver algum tipo de regulamentação para a fabricação e a venda de inovações produzidas pela indústria química? Se não, por quê? Se sim, como poderia ser essa regulamentação? Explique.

d) No momento em que Midgley e Henne concluíram que os CFCs seriam ótimos fluidos para a indústria de refrigeração, eles não tinham como saber que esses compostos representavam riscos para a camada de ozônio. Você acha que eles foram incautos? É possível prever todos os riscos oferecidos pelas novas substâncias sintetizadas pelos químicos, e que têm aplicações práticas? Como lidar simultaneamente com inovações tecnológicas representadas por novas substâncias, e com a precaução necessária para não expor as pessoas e o ambiente ao risco?

Não se espera que os participantes da discussão respondam a questões como essas de uma única maneira. Diferentes opiniões podem surgir, e não é necessário que se chegue a um consenso ao final dos debates. O mais importante para a formação dos professores, neste caso, é o próprio processo de construção e confronto dos argumentos, e mesmo a constatação de que a divergência de pontos de vista pode ser saudável. Desta forma, este tipo de atividade poderia contribuir para modificar uma postura que Höttecke e Silva (2011) descreveram como parte da cultura do ensino de ciências da Natureza: a de que os professores dessas disciplinas têm dificuldade em lidar com a diversidade de opiniões e em moderar discussões e negociações entre os alunos.

Algumas considerações sobre o caso do tetraetilchumbo e dos CFCs

No contexto da formação de professores de química, o estudo de caso do desenvolvimento da indústria do tetraetilchumbo e dos CFCs pode servir para motivar reflexões de diferentes tipos. Por um lado, o caso mostra a resolução de problemas tecnológicos pautada no conhecimento das propriedades periódicas dos elementos químicos. Além disso, permite discutir importantes aspectos da natureza do conhecimento científico, como o fato de a ciência não se constituir em um conjunto de verdades absolutas, e de haver princípios éticos essencialmente envolvidos na atividade de síntese química, especialmente em escala industrial. Dessa forma, esse estudo de caso pode servir ao objetivo de formar profissionais de química críticos e reflexivos, tal como preconizado pelo Parecer CNE/CES 1303/2001:

[O profissional de química deve possuir] capacidade crítica para analisar de maneira conveniente os seus próprios conhecimentos; assimilar os novos conhecimentos científicos e/ou tecnológicos e refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político (Brasil, 2001).⁴⁰

⁴⁰ O Estudo de Caso V foi baseado em Viana e Porto, no prelo.

Estudo de caso VI: A trajetória científica de Hans Stammreich e a questão das fontes em história da ciência

Introdução

A questão das fontes deve ser sempre alvo de reflexão pelo historiador da ciência – e quando o educador em ciências decide recorrer à história da ciência em algum momento de sua prática didática, deve também estar atento a essa questão. No caso brasileiro, muitas vezes o trabalho do pesquisador esbarra na precariedade das bibliotecas e da manutenção dos acervos, resultantes da pouca atenção que nossas instituições dedicam à preservação da memória. A associação de acervos adequados com a pesquisa é uma necessidade sempre lembrada pelos estudiosos brasileiros da área. Conforme ressaltou Roberto de A. Martins:

Não há no Brasil grandes acervos bibliográficos antigos, e isso dificulta muito a pesquisa em história da ciência aqui. Por isso, imaginei que a expansão da história da ciência exigiria dois tipos de coisas: por um lado, preparar pessoal para a pesquisa, e por outro lado criar uma infra-estrutura constituída por um centro de documentação especializado em história da ciência (Regner, 2000, p. 11).

Por ocasião do centenário de Simão Mathias, sua discípula, Ana Maria Alfonso-Goldfarb, destacou um dos ideais desse pioneiro para o desenvolvimento da pesquisa em história da ciência no Brasil:

[C]omo todo grande estudioso, foi também um grande sonhador. Para a história da ciência, sonhava, por exemplo, com a criação de uma espécie de pequena “Biblioteca de Alexandria” específica ao campo... [E]ssa biblioteca não deveria ser apenas um depósito de originais preciosos, mas servir como alimentos para um grupo de estudiosos que, aos poucos, iria criando uma escola (Alfonso-Goldfarb, 2008, p. 5).

O sonho de Simão Mathias foi concretizado no centro de pesquisa que leva seu nome, sediado na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – solidamente apoiado na competência dos recursos humanos e na riqueza do acervo bibliográfico informatizado, e onde também se desenvolvem pesquisas na interface entre a história da ciência e o ensino de ciências.

À medida que as instituições brasileiras vão dando maior importância à organização e conservação de seus acervos, os historiadores da ciência se vêem diante da possibilidade de desenvolver mais e melhores trabalhos, e mesmo de visitar periodicamente os documentos relativos à ciência no Brasil, para lançar novos olhares sobre episódios estudados sob

perspectivas diversas. Ao revisitar documentos relacionados ao cientista Hans Stammreich, procuramos preencher lacunas deixadas em trabalhos anteriores sobre esse personagem, contribuindo para a melhor compreensão de sua trajetória. Além disso, temos aqui um exemplo de como as novas tecnologias da informação e da comunicação se tornaram poderosas aliadas dos historiadores da ciência na atualidade. Assim, este estudo de caso sugere aos educadores em ciências algumas reflexões acerca da institucionalização da ciência no Brasil, e de aspectos relativos à construção da reputação dos cientistas.

Hans Stammreich (1902-1969), nascido na Alemanha e imigrado para o Brasil em 1940, foi o fundador do Laboratório de Espectroscopia Molecular (LEM) – sediado inicialmente no Departamento de Física e, desde 1970, no Instituto de Química da USP – o qual adquiriu renome internacional por suas pesquisas em espectroscopia Raman. A investigação aqui apresentada se baseou em diferentes fontes: documentos existentes no Arquivo Hans Stammreich, do Centro de Apoio à Pesquisa em História, da USP; em depoimento do Prof. Oswaldo Sala – aluno e sucessor de Stammreich na condução do LEM; em depoimento da viúva de Stammreich, colhido por cientistas alemães e publicado na Internet; em publicações de Stammreich arquivadas no LEM; e em publicações da área de físico-química do século XX – muitas das quais se encontram disponíveis via Internet.

As novas tecnologias e a questão das fontes

Nossa principal fonte para o desenvolvimento deste estudo de caso foi uma coleção de documentos depositada no Centro de Apoio à Pesquisa em História “Sérgio Buarque de Hollanda” (CAPH), da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP (FFLCH-USP). Identificada pelo nome de “Arquivo Hans Stammreich” (doravante, AHS), essa coleção é constituída por documentos que pertenceram ao cientista, e que foram reunidos e doados à USP por sua viúva, Charlotte Stammreich. No AHS encontram-se rascunhos, separatas e cópias de artigos científicos publicados, cartas dirigidas a Stammreich, cópias de cartas enviadas por ele, contratos de prestação de serviços para uma empresa, recortes de jornais de diferentes épocas (tanto da Europa como do Brasil), folhas de dados de laboratório, certificados de patentes de lâmpadas inventadas por Stammreich registradas em diversos países, e algumas fotografias. Além disso, Charlotte incluiu alguns obituários de Stammreich publicados em periódicos do Brasil e do exterior.

Outra fonte importante nesta investigação foram dois depoimentos de pessoas muito próximas a Stammreich. Ambos representam exemplos de como as tecnologias de

comunicação e informação podem contribuir para o trabalho de historiadores da ciência. O historiador José Carlos Meihy observou, a respeito da história oral:

A história oral, pelo contato com meios eletrônicos, mostra as vantagens do manejo de artefatos da atualidade, que têm, também, sentido para a produção, a preservação de documentos e as análises sociais. Uma das virtudes da história oral é colocar em prática a possibilidade de aproveitamento de materiais que, comumente, são usados apenas para entretenimento (Meihy, 2005, p. 32).

É evidente que o mesmo se aplica à história da ciência. Neste caso, estamos nos referindo não apenas à contribuição da tecnologia para o registro de depoimentos, mas também para a ampliação do acesso a fontes diversas. Em nossa pesquisa, foi realizada uma entrevista com o Prof. Oswaldo Sala no dia 11/11/2007, nas dependências de seu local de trabalho – o Instituto de Química da USP, na Cidade Universitária, em São Paulo – para a qual contribuíram com perguntas seus colaboradores, professores do mesmo Instituto: Dalva Lúcia Araújo de Faria, Márcia Laudelina Arruda Temperini e Paulo Sérgio Santos. Esse depoimento foi gravado em vídeo, e posteriormente transcrito, constituindo-se em fonte de importantes detalhes sobre as atividades científicas de Stammreich no Brasil.

Outro depoimento precioso foi obtido por dois cientistas alemães, da área de espectroscopia molecular – Andreas Otto e Bernhard Schrader – junto a Charlotte Stammreich. Ambos estiveram em São Paulo no ano de 1996, por ocasião de um simpósio que homenageava o 70º. aniversário de Oswaldo Sala. Naquela oportunidade, visitaram a viúva de Stammreich e gravaram seu depoimento, transcrito em parte para um artigo – cuja intenção era homenagear a memória de Stammreich – submetido à revista *Physikalischen Blätter*. O artigo, porém, foi recusado pela revista, e os autores não o enviaram a outra publicação. O depoimento de Charlotte Stammreich parecia destinado a permanecer inédito, não fosse por Otto posteriormente optar em publicar seu texto de outra forma: colocando-o em seu sítio na Internet, hospedado no servidor da Universidade de Dusseldorf, sob o enlace de “História da Física: Hans Stammreich” (*Geschichte der Physik: Hans Stammreich*) (Otto & Schrader, s.d.). O depoimento traz alguns detalhes, até então inéditos, a respeito da perseguição a Stammreich e sua fuga da Europa na época da Segunda Guerra Mundial. O fato de estar acessível aos historiadores da ciência é um exemplo de como as novas tecnologias têm aberto oportunidades para o acesso ampliado a documentos que, sem elas, seriam de difícil obtenção.

Stammreich e a polêmica sobre a transmutação de mercúrio em ouro

Nascido na cidade alemã de Remscheid, na Renânia, em 1902, Hans Stammreich teve uma brilhante e, sob certos aspectos, peculiar carreira científica. Stammreich foi aluno do físico e químico alemão Adolf Miethe (1862-1927), um personagem importante na história da fotografia. Miethe foi um dos inventores do *flash* de magnésio em 1887, além de uma técnica para fotografias coloridas em 1909, entre outras contribuições científicas e tecnológicas. Desde 1899, Miethe trabalhava na *Technische Hochschule* em Charlottenburg, Berlim, onde liderava o Laboratório de Fotoquímica. Na Universidade de Berlim, orientou o trabalho de doutorado de Stammreich, sobre a “Dessensibilização de emulsões de brometo de prata”, tese defendida em 1924. Na banca examinadora, estavam grandes nomes da ciência da época, como Max Bodenstein (1871-1942), Fritz Haber (1868-1934) e Walther Nernst (1864-1941).

No ano de 1923, Miethe começou a realizar experimentos para estudar a influência de radiação ultravioleta sobre a coloração de minerais e vidros. A fonte empregada era uma lâmpada de descarga de mercúrio, e uma observação curiosa acabou chamando a atenção de Miethe e Stammreich: a formação de um depósito escuro no interior da lâmpada após certo tempo de funcionamento. A composição desse depósito foi estudada, revelando a presença de mínimas quantidades de ouro.

Em julho de 1924, veio a público o anúncio da espetacular descoberta de Miethe e Stammreich. Descrita como o “decaimento dos átomos de mercúrio”, significava, de fato, a transformação de átomos de mercúrio em ouro, que Miethe e Stammreich acreditaram resultar das descargas elétricas através do vapor de mercúrio (Miethe, 1924). Nos primeiros resultados anunciados, não havia proporcionalidade entre a quantidade de ouro formada (da ordem de centésimos de miligramas) e o tempo de funcionamento do arco elétrico. Logo Miethe e Stammreich aperfeiçoaram o procedimento, obtendo rendimentos reprodutíveis de ouro em função da corrente que atravessava a lâmpada.

Quase simultaneamente, e trabalhando de modo independente, o cientista japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950) publicou, em julho de 1925, seus próprios resultados (Nagaoka, 1925). Nagaoka afirmava também haver conseguido obter ouro, fazendo passar uma faísca elétrica entre um eletrodo de tungstênio e um de mercúrio, imersos em óleo de transformador, até a completa carbonização deste. A análise dos resíduos mostrou, de maneira inequívoca, a presença de ouro. Pouco depois, o pesquisador holandês, Arthur Smits, anunciou a transmutação de chumbo em tálio e também em mercúrio, por meio de descargas elétricas em lâmpadas (Smits, 1925; 1926) – confirmando uma hipótese que ele próprio havia proposto em outubro de 1924 (Smits, 1924).

Outros cientistas se dispuseram a formular possíveis explicações teóricas para os fenômenos. Frederick Soddy (1877-1956), por exemplo, manifestou sua opinião de que a transmutação em ouro não seria devida à perda de um “íon de hidrogênio” pelo núcleo de mercúrio, conforme haviam sugerido alguns cientistas, mas muito mais provavelmente pelo ganho de um elétron pelo núcleo – que faria diminuir seu número atômico em uma unidade (Soddy, 1924).

Entre divulgadores da ciência, os resultados publicados despertavam reações que variavam entre o entusiasmo e a preocupação. Entusiasmo por parte daqueles que saudavam que o “sonho dos alquimistas” havia finalmente sido concretizado; preocupação com os impactos econômicos e sociais que a produção artificial do ouro, caso chegasse à escala industrial, fatalmente haveria de provocar. A revista *Scientific American* expressou essa opinião: “Uma súbita *débauche* dos valores baseados em ouro seria um infortúnio mundial, comparado com o qual as guerras, os terremotos e a Peste Negra seriam apenas contratempos menores” (Why we are trying to make gold, 1924, p. 389).

Entretanto, os primeiros resultados negativos começaram a aparecer em 1925, em periódicos alemães, americanos, ingleses e italianos. Entre os críticos, estava o célebre Fritz Haber, que considerava o ouro estar presente no mercúrio, ou no metal dos eletrodos, desde o início. A questão da purificação prévia do mercúrio tornou-se fundamental. Entre 1924 e 1926, Miethe e Stammreich publicaram uma dezena de artigos detalhando seus procedimentos, e também tentando demonstrar que o ouro encontrado não estava inicialmente presente no mercúrio utilizado. O inglês M. W. Garrett publicou dois artigos nos quais descreveu suas cuidadosas tentativas de reproduzir os vários experimentos publicados de transmutações, não obtendo resultados positivos (Garrett, 1926; 1927). Em relação a Miethe e Stammreich, Garrett sugeriu que o ouro seria proveniente dos eletrodos ou de outras peças do equipamento – embora os autores afirmassem que a pureza de seus materiais fosse rigorosamente controlada.

Após a morte de Miethe em 1927, Stammreich não voltou a publicar qualquer outro artigo sobre esse tema. Alguns outros trabalhos relatando resultados negativos foram publicados em 1928 e 1929. Diante das crescentes evidências de que os resultados não eram reprodutíveis, o assunto foi abandonado pela comunidade científica (Porto, Corio & Faria, 2007).

É interessante observar como Stammreich lidou com o que poderia ser considerado, do ponto de vista científico, como um fracasso. No AHS, encontram-se dois *Curricula vitarum* não datados, escritos por Stammreich após sua chegada ao Brasil, em novembro de 1940. O

primeiro deles foi escrito em primeira pessoa, antes de 1944. O segundo foi escrito em terceira pessoa, aproveita partes do anterior, e é anterior a 1949. Os trechos que tratam do episódio da transmutação são praticamente idênticos nos dois documentos, e transcrevemos a seguir o mais antigo:

Em 1924/927, o Professor Miethe e eu publicamos as nossas pesquisas sobre a possível dissociação do átomo de mercúrio por descargas elétricas e sobre a formação e a microanálise de traços mínimos de ouro (AHS, *Curriculum vitae* não datado [ca. 1941 – 1944], p. 2).

Observa-se, assim, uma descrição extremamente sucinta dos trabalhos, e Stammreich logo passa para a descrição mais detalhada de suas pesquisas posteriores, relativas à área de fotoquímica. Stammreich não se compromete quanto à comprovação ou refutação de seus resultados, ao mencionar a “**possível** dissociação do átomo de mercúrio” (grifo nosso). Ao ganhar notoriedade internacional por seus trabalhos em espectroscopia Raman, nas décadas de 1950 e 1960, o nome de Stammreich foi deixando de ser associado ao episódio da transmutação. Exemplo eloquente disso pode ser visto no artigo que Sala escreveu em 1969, como homenagem póstuma ao mestre. Ao lembrar a carreira de Stammreich, Sala destacou principalmente suas contribuições para a espectroscopia. Escrevendo em um período em que os principais estudos sobre a estrutura atômica já não contemplavam a hipótese de que a transmutação nas condições de uma lâmpada de vapor de mercúrio fosse possível, Sala não fez referência à antiga controvérsia. Nesse artigo, algumas passagens sobre a fase europeia de Stammreich parecem ter sido baseadas nos *Curricula* citados acima. Os polêmicos trabalhos de Miethe e Stammreich entre 1924 e 1927 foram assim referidos por Sala:

Com o Prof. Miethe trabalhou na determinação de microquantidades de ouro, dedicando-se depois de 1927 às bases teóricas fotoquímicas de processos fotográficos, à espectro fotografia e fotometria espectral... (Sala, 1969, p. 786, grifo nosso.)

Assim, desaparece a menção à “possível dissociação do átomo de mercúrio”, restando apenas a referência aos estudos analíticos que visavam assegurar que o mercúrio inicial era isento de ouro – argumento chave na polêmica acerca da transmutação.

O AHS revela, no entanto, que o interesse de Stammreich pela possível transmutação não se extinguiu em 1927. Documentos e depoimentos mostram as dificuldades impostas a Stammreich na época da Segunda Guerra, obrigando-o a emigrar primeiro para a França e depois para o Brasil, conforme veremos mais adiante. Apesar dos deslocamentos e retenções forçadas, Stammreich trouxe consigo uma série de documentos relativos às investigações

sobre a transmutação, e os conservou ao longo de toda sua vida, estando hoje depositados no AHS. Há documentos de diferentes naturezas, como recortes de jornais e revistas de divulgação científica da época da controvérsia. Dois documentos, porém, se destacam. Um deles é um contrato de patente, assinado entre Miethe e Stammreich, de um lado, e a empresa Siemens & Halske A.G., de outro, e que se refere a “procedimentos para a produção de ouro”, dando conta de que os referidos cientistas “são inventores de um processo para a formação de metais preciosos no mercúrio”. Conforme o contrato, o pedido de patente foi protocolado em 8 de maio de 1924 – sendo que a primeira comunicação pública dos trabalhos de Miethe e Stammreich, feita na revista *Die Naturwissenschaften*, é datada de 4 de julho de 1924. O segundo documento a ser destacado consiste em uma série de tabelas com resultados experimentais obtidos em laboratório – relacionando, por exemplo, tensões elétricas aplicadas, tempo de funcionamento de lâmpadas, e as quantidades (traços) de ouro detectadas após o procedimento. Pode-se dizer que são resultados brutos, a partir dos quais foram selecionados e organizados os resultados publicados nos vários artigos sobre o tema. A questão que emerge é: porque Stammreich teria conservado esses documentos ao longo de toda sua vida, mesmo muito tempo depois de a comunidade científica haver produzido tantas evidências contra a idéia de transmutação nas condições desses experimentos? É claro que a resposta somente pode ser especulativa; mas não é fora de propósito imaginar que Stammreich desejava garantir a prioridade sobre essa “descoberta”, caso algum dia surgissem novas evidências de que a transformação de mercúrio em ouro, pela aplicação de diferença de potencial elétrico, seria afinal possível.

A Segunda Guerra e a chegada de Stammreich ao Brasil

Os documentos do AHS, e o depoimento de Charlotte Stammreich a Otto e Schrader, permitem preencher algumas lacunas da biografia do pesquisador alemão existentes em fontes publicadas até o momento. Stammreich trabalhou no laboratório de fotoquímica da Escola Politécnica de Berlim até 1933. Nesse ano, o Partido Nazista chegou ao poder, dando início a uma política de perseguição a pessoas de origem judaica. Stammreich foi destituído de seu cargo na Universidade, e refugiou-se na França, onde, indicado por Albert Einstein, trabalhou nos laboratórios parisienses de Paul Langevin (*Collège de France*) e Charles Fabry (Sorbonne). Em Paris, os casais Stammreich e Einstein desenvolveram uma relação de amizade (Otto & Schrader, s.d.).

Em 1935, Stammreich fez uma breve visita à União Soviética, a convite Prof. Sergei Wawilow, do Instituto de Óptica de Leningrado, visando fazer seminários e interagir com os

pesquisadores na área de infravermelho (AHS, Carta-convite de S. Wawilow a Stammreich, 1935). No ano seguinte, passou um curto período no Irã, para auxiliar na implantação de um laboratório de pesquisa. Essa possibilidade já fora aventada antes mesmo de Stammreich ser convidado a visitar a União Soviética. Uma carta do parlamentar inglês Lord Marley endereçada a Stammreich, datada de 29 de agosto de 1935, fala das gestões desse parlamentar junto ao governo do Irã, para que Stammreich fosse trabalhar naquele país. “Estou convencido”, escreveu Lord Marley, “que isso seria não apenas vantajoso para o senhor, mas também que seu grande conhecimento e experiência serão capazes de fazer avançar as ciências no Irã” (AHS, Carta de Lord Marley a Stammreich, 1935). Em Teerã, Stammreich implantou “um laboratório de aplicação prática de análise espectral”, anexo a um órgão do Ministério das Minas (AHS, *Curriculum vitae* não datado [ca. 1941 – 1944], p. 1). Não encontrando, porém, condições adequadas de trabalho no Irã (segundo o depoimento de Charlotte Stammreich, “tudo era inacreditavelmente primitivo”) (Otto & Schrader, s.d.), o cientista retornou logo em seguida à França.

Em 1937, o governo nazista retirou-lhe a cidadania alemã. Com a declaração de guerra à Alemanha, em 1939, os alemães passaram a ser perseguidos na França, e Stammreich chegou a ficar detido nas proximidades de Orleans. Antes perseguido pelos alemães por ser judeu, era agora perseguido pelos franceses por ser alemão. De acordo com uma correspondência enviada por Einstein (então estabelecido em Princeton, nos EUA), e também com o depoimento de Charlotte Stammreich, a intenção inicial de Stammreich era emigrar para os EUA, mas não conseguiu obter o visto necessário – em virtude do grande número de judeus que buscavam fazer o mesmo caminho na época. A solução veio por intermédio do Prof. Aloysio de Castro (1881 – 1959), professor catedrático da Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro. Após sua intercessão, o Itamaraty concedeu um visto permanente para que Stammreich pudesse emigrar para o Brasil. Não foi fácil, porém, cruzar o Atlântico. Quando o navio em que viajava o casal Stammreich aportou em Casablanca (Marrocos), autoridades francesas detiveram o cientista, sem considerar seu visto. Permitiram, porém, que sua esposa seguisse viagem para o Rio de Janeiro. Chegando no final de maio ao Brasil, Charlotte recorreu ao Itamaraty para tentar a liberação de Stammreich. Em junho, Charlotte soube, por outro refugiado, que Stammreich se encontrava em um campo de prisioneiros, aguardando interrogatório. Finalmente, Stammreich seguiu de barco para Portugal, de onde enviou um telegrama para o Brasil. Assim, o governo brasileiro reservou um lugar para Stammreich em um navio com destino ao Rio de Janeiro, onde ele finalmente reencontrou sua esposa em novembro de 1940 (Otto & Schrader, s.d.).

Aloysio de Castro, responsável pela emigração de Stammreich para o Brasil, fora apresentado a ele pelo intelectual francês Julien Luchaire. Entre 1922 e 1930, Castro fora representante brasileiro na Comissão Internacional de Cooperação Intelectual – organismo criado em janeiro de 1922 no âmbito da Liga das Nações – comissão da qual Luchaire e Einstein também foram integrantes (Academia Brasileira de Ciências, s.d.; Renoliet, 1999). Um detalhe curioso é que uma carta de recomendação revela que Castro apresentou Stammreich ao então Reitor da USP, Prof. Domingos Rubião Alves Meira – também formado pela Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro (Oba, 2006), assim como Castro – já no início de 1941. Contudo, Stammreich somente foi contratado pela USP em 1944, após passar um período trabalhando em uma indústria de luminosos fluorescentes na cidade de São Paulo, a Niil Neon Ltda. Não foi possível esclarecer, entretanto, porque Stammreich não foi contratado logo após os primeiros contatos, em um período em que a recém-fundada e pioneira Universidade ia constituindo seus quadros com pesquisadores estrangeiros.

Mesmo após sua admissão na USP, Stammreich continuou prestando serviços à Niil Neon, conforme atestam cópias de contratos e correspondências enviadas por Stammreich à empresa, depositadas no AHS. Esses documentos revelam que a relação entre as partes, nesse período, foi um tanto conflituosa. Stammreich se queixa de que a empresa não oferecia as condições necessárias para que ele realizasse os serviços acordados, e também reclama de atrasos nos pagamentos devidos. Em uma carta de 23 de janeiro de 1946, assim Stammreich se dirigiu ao Sr. Alfredo Pereira de Queiroz, administrador da empresa:

Por ocasião da nossa última conferência do dia 20 do mês passado, falamos detalhadamente sobre o assunto, mas até hoje nada foi providenciado – ao menos que eu saiba – a respeito do preparo e da organização da produção.

Desta maneira, encontram-se meus serviços na fábrica praticamente parados, uma vez que o trabalho experimental no laboratório é terminado, e que os outros serviços previstos..., como o ensino do pessoal da fábrica e o desenvolvimento da produção pelo uso das invenções e aperfeiçoamentos obtidos, dependem das providências mencionadas acima (AHS, Carta de Stammreich a Alfredo Pereira de Queiroz, 1946a, p. 1).

Em 13 de maio de 1946, Stammreich voltou a escrever ao administrador, solicitando informações a respeito dos países nos quais a Niil Neon teria registrado a patente da lâmpada inventada por ele, conforme o contrato assinado entre as partes:

Nós falamos durante os últimos meses, frequentemente, da alta importância de defender e de estender no máximo possível nossos direitos decorrentes da patente e da prioridade, sobretudo em vista das construções novas em lâmpadas

fluorescentes, aparecidas nos E.E.U.U. após a data da nossa prioridade. Estranho, portanto, que nenhuma comunicação me tenha sido feita... (AHS, Carta de Stammreich a Alfredo Pereira de Queiroz, 1946b.)

Trata-se de um exemplo concreto das dificuldades em se estabelecer a pesquisa e inovação nas empresas privadas brasileiras – um problema que ainda persiste nos dias de hoje. O contrato, assinado entre Stammreich e a Niil Neon em 1945, acabou por ser rescindido em 7 de junho de 1946.

A importância da instrumentação científica

Na Universidade de São Paulo, Stammreich ganhou notoriedade por suas pesquisas na área de espectroscopia Raman, desenvolvidas nas décadas de 1950 e 1960: o laboratório fundado por ele alcançou projeção internacional em função da excelência da pesquisa ali desenvolvida (Sala, 1969).

No final da década de 1940, Stammreich reconhecia que as aplicações da espectroscopia Raman poderiam ser ampliadas caso se pudesse obter espectros na região de comprimentos de onda mais longos. Uma série de dificuldades técnicas impedia que isso fosse feito, mas a criatividade e o esforço de Stammreich e seus colaboradores permitiram a resolução desses problemas. Até então, as fontes de radiação mais utilizadas em espectroscopia Raman eram as lâmpadas de mercúrio, inadequadas para a região de frequência correspondente à cor vermelha. Por volta de 1949, Stammreich passou a construir lâmpadas de hélio: as primeiras tinham 1 cm de diâmetro, eram pouco luminosas e pouco eficientes. Com o tempo, foram desenvolvidas lâmpadas com maior luminosidade, de 5 mm de diâmetro e 1 m de comprimento, que eram dispostas como uma “serpentina” em torno do tubo com a amostra a ser estudada. O trabalho na região de comprimentos de onda maiores trazia como inconveniente o menor fator de espalhamento. Esse problema tinha que ser compensado por maiores tempos de exposição, os quais chegavam a dezenas de horas. Um problema associado era o aquecimento das paredes da lâmpada, o que demandava um banho para resfriamento. Stammreich e colaboradores utilizaram um banho de parafina líquida – a qual, com o tempo, se queimava na superfície da lâmpada, enegrecendo-a. A alternativa era um banho de água, que, no entanto, era bastante perigosa, considerando que se estava trabalhando com tensões elétricas elevadas, da ordem de milhares de volts. Outros grupos, no exterior, também utilizaram lâmpadas de hélio nessa época, mas eram menos estáveis que as lâmpadas desenvolvidas pelo grupo de Stammreich. No LEM, as lâmpadas foram dotadas de maior reserva de hélio, de forma que pudessem funcionar por 300 horas ou mais. Além disso,

o controle da pressão nas lâmpadas permitia modificar a intensidade relativa das linhas emitidas, podendo-se assim construir lâmpadas adequadas para diferentes necessidades.

As amostras comerciais de hélio, em geral, continham neônio como impureza – o que era muito inconveniente, visto que o neônio apresenta muitas linhas de emissão na região do vermelho e infravermelho próximo. Por isso, o hélio era preparado pelos próprios pesquisadores do LEM, a partir de areia monazítica (obtinha-se cerca de um litro de hélio por quilo da areia). Outra modificação introduzida pelo grupo de Stammreich foi a substituição dos prismas por redes de difração, que variavam de 600 a 2200 linhas/mm, e com as quais se podia obter grandes dispersão e luminosidade.

O conjunto de metodologias e técnicas desenvolvidas no LEM por Stammreich e seus colaboradores, como Oswaldo Sala, Darwin Bassi e Roberto Forneris, permitiu a obtenção de espectros Raman com qualidade invejável, de sistemas de difícil estudo – tais como substâncias fluorescentes, fotossensíveis e fortemente coloridas, entre as quais as primeiras foram: Br_2 , BrCl e muitos outros inter-halogênios, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^- , etc. Exemplo de superioridade das técnicas desenvolvidas no LEM foi o estudo do $\text{Fe}(\text{CO})_5$: King e Lippincott (1956), utilizando uma lâmpada de sódio, puderam observar apenas 4 bandas de seu espectro Raman. Pouco depois, pesquisadores do LEM obtiveram o espectro completo (13 bandas), confirmando a estrutura D_{3h} das moléculas desse composto (Stammreich *et alii*, 1959).

A correspondência de Stammreich nos dá uma idéia de sua reputação no meio científico da época: entre seus contatos estavam Albert Cotton (MIT), Walter Edgell (Purdue University), Foil Miller (Mellon Institute), Geoffrey Wilkinson (Imperial College), Leonard Woodward (Oxford) – alguns dos mais destacados cientistas desse período, que manifestavam sua admiração em relação aos resultados obtidos no LEM.

Em seu *Curriculum vitae*, Stammreich descreveu as características de seu próprio trabalho. Analisadas retrospectivamente, suas palavras sumarizam com propriedade alguns aspectos que foram decisivos para o desenvolvimento do LEM:

Os meus trabalhos e pesquisas científicas... giram em torno de numerosas questões de óptica e fotoquímica, de espectroscopia e em geral da aplicação de métodos físicos na química, como da *construção e de desenvolvimento de aparelhos para fazer evoluir esses métodos* (AHS, *Curriculum vitae* não datado [ca. 1941 – 1944], p. 2, grifo nosso).

A importância das habilidades experimentais foi um valor totalmente assimilado pelos alunos de Stammreich, como Sala e Forneris. Sala, posteriormente, se esforçou para que seus próprios estudantes no Instituto de Química da USP também desenvolvessem essas

habilidades. O cuidado com que Sala construía equipamentos no LEM, e com que pessoalmente cuidava de sua manutenção, sempre foi reconhecido por todos os seus colaboradores como uma de suas características mais notáveis. Além disso, Sala sempre enfatizou a necessidade de uma severa análise crítica dos resultados obtidos por seus alunos, tanto em termos das bases teóricas como dos procedimentos experimentais. Sala costumava dizer que cada um deve ser o revisor mais crítico de seus próprios trabalhos (Sala, comunicação pessoal; Porto *et alii*, 2008).

Algumas considerações sobre o estudo da trajetória de Stammreich

No Brasil, Stammreich não apenas desenvolveu um trabalho científico de qualidade, mas implantou uma verdadeira escola de pesquisadores em espectroscopia molecular. Sua trajetória se mostra um caso exemplar das possibilidades de desenvolvimento de pesquisa científica de ponta em um país periférico. O trabalho de Stammreich mostra como as deficiências características de nossas estruturas de ensino e pesquisa puderam ser contornadas, e como as condições favoráveis foram bem exploradas. A visão de Stammreich, e a adequada formação de recursos humanos, possibilitaram extrair o máximo das condições disponíveis. Nesse sentido, a excelência alcançada pelo LEM na área de espectroscopia Raman sugere que Stammreich era a pessoa certa no momento certo: sua formação profissional (seu trabalho na década de 1930, com a construção de lâmpadas e também de instrumentos ópticos) e suas características pessoais, permitiram explorar uma técnica de pesquisa até seus limites. Isso somente seria possível no momento em que ocorreu: a partir da década de 1960, a utilização de lasers como fonte mais apropriada para a excitação molecular que gera os espectros Raman fez com que as lâmpadas de descarga, incomparavelmente menos potentes e versáteis que o laser, perdessem importância em espectroscopia Raman.

A análise dessa trajetória auxilia a reconstrução do panorama da pesquisa científica no Brasil, em um período marcado por um novo marco institucional no país: a Universidade de São Paulo. Um novo olhar sobre documentos ainda pouco estudados da época, e sobre os depoimentos de pessoas que conviveram com Stammreich, permite lançar novas luzes sobre a carreira desse pioneiro da espectroscopia molecular no Brasil, sobre as condições de institucionalização da ciência no país e sobre os fatores humanos que integram o complexo processo de construção da ciência.⁴¹

⁴¹ O Estudo de Caso VI foi baseado em Porto, Corio e Faria, 2010.

Estudo de Caso VII – Augusto dos Anjos e o poema “Psicologia de um Vencido”

Introdução

A interdisciplinaridade no ensino tem sido recomendada nas mais recentes reformas educacionais – e parece ser um dos ideais mais difíceis de serem colocados em prática. Este estudo de caso pretende ser uma pequena contribuição para a integração entre diferentes disciplinas, por meio da abordagem à obra de um importante poeta brasileiro: Augusto dos Anjos (1884-1914). Um soneto desse autor, aliás, já serviu como pretexto para uma questão de química do exame vestibular da Unicamp em 1997 – embora a questão envolvesse apenas o significado atual dos termos técnicos citados por Augusto dos Anjos, e não o contexto que levou o autor a utilizá-los. Este estudo de caso, por sua vez, tem como ponto de partida um soneto de Augusto dos Anjos, “Psicologia de um Vencido”, o qual enseja discussões sobre a ciência de sua época e sobre aspectos químicos da vida, que podem ser úteis para o ensino na atualidade. O poema, publicado pela primeira vez em 1912, no livro intitulado *Eu*, é transcrito a seguir.

Psicologia de um Vencido

Eu, filho do carbono e do amoníaco,
Monstro de escuridão e rutilância,
Sofro, desde a epigênese da infância,
A influência má dos signos do zodíaco.

Profundissimamente hipocondríaco,
Este ambiente me causa repugnância...
Sobe-me à boca uma ânsia análoga à ânsia
Que se escapa da boca de um cardíaco.

Já o verme – este operário das ruínas –
Que o sangue podre das carnificinas
Come, e à vida em geral declara guerra,

Anda a espreitar meus olhos para roê-los,
E há de deixar-me apenas os cabelos,
Na frialdade inorgânica da terra!

Vida e morte na ciência do final do século XIX

Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), personagem já apresentado em estudo de caso anterior, fez também importantes contribuições para a chamada “química orgânica” (então considerada a “química dos seres vivos”). Sistematizando e organizando fatos conhecidos havia muito tempo, Lavoisier observou que as substâncias provenientes dos reinos animal e vegetal sempre continham os elementos carbono e hidrogênio, e frequentemente também oxigênio, nitrogênio e fósforo. Lavoisier considerava o estudo dos compostos orgânicos juntamente com os inorgânicos; por exemplo, classificava juntos todos os ácidos, fossem eles de origem mineral, vegetal ou animal. Outros químicos seus contemporâneos, porém, preferiam tratar separadamente os compostos inorgânicos e orgânicos. Acreditavam que estes últimos teriam alguma peculiaridade, a qual faria com que somente organismos vivos pudessem sintetizá-los. Esta crença se prolongou através do século XIX, sendo abraçada por importantes químicos do período. Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), por exemplo, chegou a crer que os compostos orgânicos, ao contrário dos inorgânicos, não obedeceriam à lei das proporções definidas (proposta por Joseph Louis Proust (1754-1826) no começo daquele século). Leopold Gmelin (1788-1853) afirmava que os compostos orgânicos requereriam um animal ou planta para sintetizá-los a partir da matéria bruta, enquanto os compostos inorgânicos poderiam ser sintetizados pelo ser humano diretamente a partir dos elementos que os constituem. Essas visões resumem aspectos do vitalismo que permeava o pensamento de importantes químicos nas primeiras décadas do século XIX.

Por outro lado, apesar das dificuldades em torno da síntese de compostos orgânicos, sua análise foi uma das áreas que experimentou maior desenvolvimento ao longo do século XIX. O conhecimento dos químicos acerca dos produtos da decomposição dos tecidos vivos, em meados do século XIX, pode ser resumido pelas palavras de Friedrich Wöhler (1800-1882) a outro químico, Justus von Liebig (1803-1873), em carta de 1843: “Imagine-se no ano de 1900, quando nós dois estaremos dissolvidos em ácido carbônico⁴², água e amônia, e nossas cinzas – talvez – serão parte dos ossos de algum cão que terá espoliado nossos túmulos” (Wöhler, *apud* Ihde, 1984, p. 181).

Esta continuidade – ou antes, unidade – da química dos “mundos” orgânico e inorgânico, aliada à crença na possibilidade da geração espontânea, e aliada ainda a teorias emergentes no século XIX – relativas à evolução das espécies e seleção natural – permitiram o surgimento de doutrinas monistas materialistas relacionadas à ciência. Um exemplo de

⁴² Isto é, o dióxido de carbono dos químicos de hoje.

cientista que desenvolveu esta postura filosófica foi Ernst H. Haeckel (1834-1919). Haeckel estudou diversos tipos de organismos. A forma de vida que mais lhe despertou interesse foram os organismos unicelulares que não possuem núcleo, classificados na ordem monera. O núcleo celular é uma organela essencial às células de quaisquer outros seres vivos, pois sem ele as células ficam incapazes de se reproduzir. Devido às características da estrutura das moneras, Haeckel defendia que elas seriam as mais simples formas de vida, a partir das quais organismos sucessivamente mais complexos teriam evoluído. Haeckel aderiu ao darwinismo, embora o tenha interpretado de maneira particular, misturando-o com radicalismo político (crença cega no progresso, anticlericalismo) e com a filosofia natural romântica de Goethe. Em sua obra *Generelle Morphologie*, de 1866, Haeckel buscou explicações causais mecânicas para as formas e os fenômenos da vida. Segundo ele, isto possibilitaria uma explicação “monista” da Natureza sobre bases filosóficas. Assim, ele afirmou que não haveria qualquer diferença essencial entre o que é animado e o que é inanimado. Após comparar detalhadamente os cristais e as células vivas, Haeckel concluiu que ambos são semelhantes em todos os aspectos relativos à composição química, crescimento e individualidade. Em *Die Welträthsel*, de 1899, Haeckel defendeu que a única causa do movimento vital seriam as propriedades químicas do carbono. As formas mais simples do protoplasma vivo teriam surgido de compostos nitrogenados de carbono, não vivos, por um processo de geração espontânea. A própria atividade psíquica não seria mais do que um conjunto de fenômenos dependentes de mudanças materiais no protoplasma. Surpreendentemente, porém, ainda em *Generelle Morphologie*, Haeckel tendeu para um monismo panteísta, ao afirmar que “matéria nenhuma pode ser concebida sem espírito, e nenhum espírito sem matéria”, e ao decretar a unidade entre Deus e a Natureza. O darwinismo então em voga teve muitos outros ferrenhos defensores; entre eles, Herbert Spencer (1820-1903). Embora não fosse um especialista em biologia, Spencer foi um dos mais importantes representantes do pensamento evolucionista do final do século XIX. Acreditava Spencer que a filosofia deveria combinar, sob um ponto de vista comum, os resultados obtidos por todas as ciências: física, química, biologia, e também psicologia e sociologia. A evolução seria o ponto de contato entre todas as ciências. Spencer desenvolveu um conceito de evolução que abrangia todas as formas de existência, não apenas os organismos biológicos:

Evolução é uma integração de matéria e concomitante dissipação de movimento, durante a qual a matéria passa de uma homogeneidade indefinida e incoerente para uma heterogeneidade definida e coerente; e durante a qual o movimento retido sofre uma transformação paralela (Spencer, *apud* Mayr, 1982, p. 386).

Spencer partiu de teorias de biólogos acerca da evolução, como a “teoria da epigênese” de Caspar Frederick Wolff (1733-1794), por exemplo. Wolff, estudando células ao microscópio, observou a formação progressiva e a diferenciação de diferentes órgãos a partir do que ele chamava de “gérmen”, aparentemente homogêneo. A hipótese alternativa seria a “teoria de pré-formação”, segundo a qual todos os organismos já estariam pré-formados no ovo, e a partir de então apenas cresceriam. Esta última teoria é claramente incompatível com a doutrina da evolução. Spencer, todavia, não concebeu a evolução como restrita apenas à biologia: procurou generalizá-la para todos os fenômenos. Enxergou evolução nos corpos celestes; na formação geológica da Terra (de uma bola incandescente e homogênea até o aspecto atual); na formação de espécies animais cada vez mais complexas a partir de formas primitivas; nas próprias estruturas sociais.

Psicologia de um Vencido: cruzamento dos planos científico e poético

A característica mais notável das poesias de Augusto dos Anjos é seu conteúdo científico e filosófico. Isto não significa que Augusto dos Anjos estivesse preocupado em fazer, investigar ou mesmo divulgar ciência e filosofia. Sua peculiar visão de mundo, sua busca interior, é que foram encontrar no materialismo, no monismo, no evolucionismo, os conceitos e o vocabulário adequados para se expressar. Observa-se em sua poesia a incorporação das ideias, principalmente, de dois dos principais divulgadores do evolucionismo no final do século XIX: Haeckel e Spencer (que chegam a ser citados nominalmente em alguns poemas⁴³). Recuando no tempo, essa característica de cantar em versos uma filosofia materialista nos permite estabelecer, sob alguns aspectos, um paralelo entre Lucrécio e Augusto dos Anjos.

Tito Lucrécio Caro (96-55 a.C.), em seu *De rerum natura*, cantou em forma de poesia alguns aspectos da filosofia de Epicuro (341-270 a.C.). Não se trata de uma exposição rigorosa do sistema epicurista, visto que sequer atinge seu âmago, que é a teoria do prazer. Lucrécio busca enaltecer a figura de Epicuro, e destaca algumas de suas ideias. Aqui, interessa-nos observar que, buscando respostas sobre a natureza da alma e da morte, Lucrécio também descreve uma “cosmologia” materialista em que a morte é o fim de tudo.

Para Lucrécio, como para Epicuro, a criação do universo não teria sido obra dos deuses. Tudo o que existe – o céu, a Terra, as plantas, os animais, o homem – teria origem no movimento de átomos que não teriam início nem fim. Seria esse mesmo movimento de

⁴³ Vide os poemas “Agonia de um filósofo”, “*Mater originalis*” e “Os doentes - I”, in: Anjos, 1995, p. 81, 101, 106.

partículas minúsculas que produziria todos os fenômenos da Natureza, psicológicos e sociais. Segue-se, desse absoluto materialismo que rejeita a existência de qualquer poder sobrenatural a influir sobre a vida humana, que a morte significaria apenas a dispersão dos átomos constituintes de um ser. Essa visão da morte encontra eco séculos depois em “Psicologia de um Vencido”, onde o que resta do homem após a decomposição de sua carne são apenas cabelos na terra fria. Apesar de estarem de acordo quanto a esse ponto, os enfoques de um e de outro poeta são bem diferentes. Lucrécio expõe sua visão da morte para mostrar que não devemos temê-la, que não há motivo para o homem sofrer com a incerteza acerca do futuro de seu espírito. Diz ele: “...o espírito nasce juntamente com o corpo e cresce com ele e envelhece ao mesmo tempo” (Lucrécio Caro, 1973, livro III, versos 445-446). O espírito não poderá lamentar a ausência de situações felizes passadas, ou a ausência de pessoas queridas, ou a não fruição plena da vida – simplesmente porque o espírito se extingue junto com o corpo, e nada resta que possa sofrer ou lamentar-se. O que transparece no poema de Augusto dos Anjos, entretanto, é uma postura muito mais pessimista e angustiada. O poeta paraibano destaca o sofrimento do homem ainda em vida, como agrupamento de matéria à mercê de forças sobre as quais ele não tem controle. A morte, sendo o fim de tudo, desfaz qualquer esperança de consolação e alívio em outro plano de existência. Lucrécio convida a desfrutar da vida, sem preocupação com a imortalidade que não existe; para Augusto dos Anjos, porém, só há desgosto em vida, que se há de encerrar em podridão.

Conforme dissemos, o que Augusto dos Anjos faz não é uma “tradução” das ideias de Haeckel e Spencer para a forma de versos. O poeta buscava expressar sua angústia diante da vida. Seu tema não era o amor: em seu livro *Eu*, amor e erotismo são temas praticamente ausentes; ou então aparecem para serem repelidos pelo poeta. Tampouco era a busca de Augusto dos Anjos pela divindade, ou pela transcendência da alma. Os sentimentos que ele expressa são o pessimismo, uma visão materialista e perplexa da vida. Seus poemas são construídos de imagens grotescas, horríveis, repugnantes – que chocam o leitor. Na filosofia evolucionista, Augusto dos Anjos encontrou uma visão de mundo que entrou em ressonância com seu próprio pessimismo: uma doutrina que concebia a vida como originária de uma combinação de moléculas por geração espontânea; que via o homem como um estágio na evolução da vida, a partir de microrganismos simples, e passando por plantas e animais sucessivamente mais complexos. Assim, a filosofia e a ciência evolucionista deram a forma intelectual e os signos linguísticos que Augusto dos Anjos precisava para expressar seus sentimentos. O poeta acumulou conhecimentos em um nível cognitivo consciente – o da

ciência – e foi capaz de transmutá-los para um plano diferente, o da expressão lírica, do efeito estético, da emoção.

Assim, o uso que Augusto dos Anjos fez de termos técnicos familiares ao cientista, mas estranhos a outros poetas – ou mesmo ao leitor comum –, pode ser focado sob várias facetas. Um aspecto que chama a atenção é a sonoridade destas palavras. Elas conferem aos poemas musicalidade e ritmo inusitados, por sua própria fonética e estranheza. Estas características são realçadas quando participam da rima: em “Psicologia de um Vencido”, Augusto dos Anjos produziu surpreendente rima com as palavras “amoníaco” / “zodíaco” / “hipocondríaco” / “cardíaco”. Além disso, emprestou da ciência as palavras “carbono”, “epigênese” e “inorgânica”. Há críticos que apontam o vocabulário “difícil” de Augusto dos Anjos como um dos motivos para sua popularidade. São poemas recheados de palavras incompreensíveis para a maioria dos leitores, e assim adquirem uma aura de mistério, de musicalidade quase pura (porque destituídas de significado para o leigo) e, por consequência, de encantamento. Podemos, então, imaginar diferentes níveis de leituras para os poemas de Augusto dos Anjos, e para a “Psicologia de um Vencido” em particular. Um leitor pouco versado em ciências poderá não entender muito bem porque o poeta se declara filho do carbono e do amoníaco; nem por isso deixará de se impressionar com a sonoridade da palavra amoníaco, e com suas rimas com zodíaco, etc. Este leitor também não deverá ter dificuldade em apreender o tom pessimista do soneto, e a visão materialista em que a morte se resume a ter o corpo roído pelos vermes, conforme os dois tercetos deixam bastante claro. Por outro lado, um leitor que conheça um pouco de química e de biologia fará ainda outras leituras. Este leitor verá resumido já no primeiro verso, de maneira magistral, o materialismo de Augusto dos Anjos. O carbono é, efetivamente, o principal elemento constituinte das moléculas dos organismos vivos. Graças à capacidade dos átomos de carbono formarem cadeias é que são possíveis as grandes moléculas de carboidratos, proteínas, lipídios, ácidos nucleicos,... que constituem as células. O amoníaco é um composto dos elementos hidrogênio – companheiro fiel do carbono na estrutura de qualquer cadeia carbônica – e nitrogênio – constituinte essencial das proteínas e dos ácidos nucleicos. Na década de 1920, o cientista russo A. I. Oparin viria a propor que o amoníaco e outros gases (metano, vapor de água, hidrogênio), expostos à energia de relâmpagos ou de raios ultravioletas provenientes do sol, teriam reagido na primitiva atmosfera terrestre para formar aminoácidos e outros compostos precursores da matéria viva. Quimicamente falando, portanto, era justo atribuir ao carbono e ao amoníaco a “paternidade”, não só do ser humano, mas de todos os seres vivos. Dos quatro elementos mais abundantes na matéria viva, Augusto dos Anjos só não faz referência, neste poema, ao

oxigênio – mas o que se espera aqui não é, evidentemente, o rigor de um bioquímico. O que se deve ressaltar é o extraordinário talento do poeta em resumir a origem química da vida em apenas um verso. Além disso, o verso retrata a origem da vida em seu absoluto materialismo. Augusto dos Anjos poderia falar do homem como amontoado de carne, ossos, sangue – entidades que por si sós não são vivas. Mas esses conceitos são ainda portadores de uma carga vital muito forte, e talvez ainda lhes possamos atribuir algum valor espiritual ou anímico. Poderia falar de proteínas ou carboidratos, mas ainda assim esses termos estariam muito associados a um organismo vivo “em funcionamento”. Ao falar, entretanto, em carbono e amoníaco, Augusto dos Anjos desce ao limite inferior da materialidade biológica. Pensando em termos dos átomos (carbono) e moléculas (amoníaco) que são estudados pela química, estaremos numa dimensão onde não existe qualquer resquício de alma ou de espírito. Não há nada que lembre um espírito num monte de carvão ou grafita (formas mais comuns de carbono elementar). Como enxergar vida no malcheiroso e sufocante gás amoníaco? Antes o associaríamos ao fim de toda vida, por ser tóxico, e também por ser um dos gases que emanam dos corpos em putrefação. E, no entanto, em seus átomos reside parte do segredo da vida. O soneto principia descrevendo as origens da vida – filho do carbono e do amoníaco – e termina descrevendo qual a destinação final do ser humano – restos lançados na frialdade inorgânica da terra. O poema se estrutura, pois, numa forma cíclica: o homem provém do mundo inorgânico e a ele retorna. É o próprio ciclo da vida e da morte retratado no soneto. O que acontece de permeio? Dor, sofrimento, e a presença constante e ameaçadora da morte inevitável. Augusto dos Anjos se classifica como um “monstro” no segundo verso; mas um monstro de escuridão e rutilância. Neste paradoxo de claro-escuro caracteriza-se o ser humano, que guarda dentro de si o bem e o mal, o anjo e o demônio simultaneamente. Essa bipolaridade que atormentava Augusto dos Anjos foi manifestada também em outros poemas, como em “Vítima do Dualismo”: “Psique biforme, o Céu e o Inferno absorvo ... Criação a um tempo escura e cor-de-rosa”. Em outro soneto, “Contrastes”, o mesmo tema: “O Amor e a Paz, o Ódio e a Carnificina,/ O que o homem ama e o que o homem abomina,/ Tudo convém para o homem ser completo” (Anjos, 1995, p. 190 e 126).

Esse homem dividido é um prisioneiro das contingências do mundo; nos versos seguintes, Augusto dos Anjos descreve seu implacável destino. A menção à influência má dos signos do zodíaco poderia ser interpretada como alusão supersticiosa do poeta, que estaria manifestando sua crença num poder sobrenatural das estrelas. Acreditamos, porém, que o poeta está metaforizando seu determinismo. Ou seja, desde sua formação, o homem teria já seu destino implacavelmente traçado, como se isso estivesse escrito nas estrelas. A terrível

sina do poeta é descrita como sofrimento físico, um mal-estar semelhante ao de um doente; mas trata-se de uma repugnância ao próprio mundo, decorrente da consciência acerca da miserável condição humana. Os vermes representam a iminência e a onipresença da morte. A eles cabe fechar o ciclo da Natureza, fazendo com que a matéria humana retorne às formas mais simples da matéria inorgânica. Em *De rerum natura*, Lucrecio afirmou que a alma residente no corpo do homem, após a morte, não sobrevive: subdivide-se em outras pequenas almas que animarão os vermes. Se a alma abandona o corpo no momento da morte, indaga Lucrecio, “...donde vem que uma tão grande abundância de animais sem ossos e sem sangue se agite por entre os membros tumefactos?” (Lucrecio Caro, 1973, livro III, versos 720-724.) Augusto dos Anjos reinterpreta o tema, colocando o verme como operário das ruínas, à espera do momento em que intervirá no ciclo natural dos átomos. O último terceto retrata a inexorabilidade da morte: o verme “há de deixar-me apenas os cabelos / Na frialdade inorgânica da terra!” Não se fala em alma ou espírito imortal, não há transcendência. Nada resta após a morte senão cabelos, alimento de vermes – átomos, enfim.

Algumas considerações sobre o estudo do poema de Augusto dos Anjos

“Psicologia de um Vencido” é um excelente exemplo da rara habilidade com que Augusto dos Anjos foi capaz de transmutar ciência em expressão poética. Considerando o contexto do ensino, o soneto pode servir como ponto de partida para atividades de caráter interdisciplinar, motivando discussões sobre temas de língua portuguesa, literatura, biologia e química. Observa-se, também, como a história da ciência pode ser útil para que os professores conduzam esse projeto interdisciplinar. Conhecimentos de biologia, sobre evolução, por exemplo, não estão explícitos no soneto. No entanto, um olhar para a obra de Augusto dos Anjos mostra como ele foi influenciado pelas ideias evolucionistas de sua época – o que demonstra como o conhecimento de história da ciência pode ajudar o professor de biologia a dialogar com outras disciplinas e a desenvolver os conteúdos específicos de sua própria disciplina de forma contextualizada.⁴⁴

⁴⁴ O Estudo de Caso VII foi baseado em Porto, 2000.

Considerações Finais

Neste texto crítico, procuramos mostrar a relevância do diálogo entre historiadores da ciência e educadores para a investigação e a possível melhoria do ensino de ciências em geral, e de química em particular. O diálogo se faz necessário para que a comunidade de educadores em ciências se aproprie de conhecimentos sobre historiografia da ciência, e faça reflexões sobre esses conhecimentos ao considerar as possibilidades didáticas da história da ciência. Embora existam na literatura algumas discussões explícitas de questões historiográficas, entendemos que elas ainda não atingiram a abrangência necessária, no sentido de servirem de fundamentação para quaisquer propostas de interação entre a história da ciência e o ensino. Dois pontos seriam vitais para esse processo de aproximação: considerar a historiografia contemporânea, visando alcançar os objetivos atuais do ensino; e introduzir as discussões de caráter historiográfico na formação de educadores em ciências, se desejarmos que eles incorporem a história da ciência a suas práticas. Procuramos, neste texto, mostrar o potencial crítico da adoção de um referencial historiográfico atualizado para investigações na área de ensino de ciências: analisando livros didáticos utilizados atualmente, tanto no ensino médio quanto no superior; tomando livros didáticos do passado como indícios para se compreender diferentes aspectos da história da ciência e do ensino; e desenvolvendo estudos de caso históricos que ensejam discussões sobre a construção de conceitos científicos e sobre o próprio empreendimento científico.

A análise de publicações que recorrem à história da ciência visando finalidades didáticas, sejam de divulgação científica, livros didáticos ou paradidáticos, e mesmo artigos de pesquisa, tem mostrado que concepções historiográficas desatualizadas ainda são bastante difundidas, embora conflitem com os objetivos almejados para a educação em ciência na atualidade. Criar designações para essas abordagens problemáticas, tais como *pseudo-história*, ou *quasi-história*, não parece ser uma estratégia adequada para provocar mudanças positivas nessa situação. A reação de Hershey às ponderações de Allchin, comentada no Capítulo 2, é um exemplo de como esses rótulos podem ser tomados como pejorativos, e assim se tornam eles próprios objeto de críticas, fazendo com que se desvie a atenção de questões mais fundamentais. Mais do que rótulos provocativos, é preciso explicitar, no âmbito da educação em ciências, que existem diferentes concepções historiográficas, as quais carregam, subjacentes, distintas concepções de ciência. Essa explicitação é necessária, pois ignorar essa questão traz consequências para o ensino de ciências. Um modelo historiográfico continuísta, internalista, acumulativo, que olha para o passado buscando os “precursores” das

ideias científicas atuais, avaliando o pensamento de outras épocas por meio dos critérios da ciência de hoje, não contribuirá para a construção de uma visão de ciência condizente com os objetivos atuais do ensino. A busca destes objetivos se beneficiará, por outro lado, de abordagens que contemplem a análise pontual e minuciosa de estudos de casos, a contextualização das ideias, a identificação de diferentes níveis superpostos de continuidades e rupturas, as particularidades das interpretações das várias fontes pelos cientistas, o reconhecimento da importância de outras tradições intelectuais no desenvolvimento da ciência, bem como o impacto de outros tipos de fatores externos, de natureza psicológica e social. Desse modo, as relações entre os estudos de caso e o contexto mais amplo da história da ciência adquirem novos significados, que melhor caracterizam a complexidade do empreendimento científico ao longo dos tempos. Para que o educador em ciências tenha condições de tirar proveito dessas abordagens, é necessário que, em algum momento, ele seja apresentado às questões historiográficas da ciência.

Reflexões sobre a historiografia da ciência se mostraram muito úteis para a análise crítica de livros didáticos do ensino médio e superior. A análise realizada revelou que a quantificação proposta por Leite (2002) pode ser muito útil, mas a análise qualitativa é essencial. Aliás, a própria Leite incluiu, em seu instrumento original, a análise qualitativa como uma de suas dimensões analíticas. Os números obtidos para as diferentes categorias do instrumento permitem caracterizar alguns aspectos da abordagem histórica nos livros didáticos, especialmente no que se refere a alguns “vícios” na caracterização da atividade científica: ênfase em nomes e datas, cientistas que parecem trabalhar isoladamente, menções superficiais a fatos e descobertas, que tendem a resultar em uma sequência linear e acumulativa para o desenvolvimento da ciência. Entretanto, a simples quantificação não seria capaz de explicitar, por exemplo, a presença de um estudo de caso aprofundado, eventualmente presente em um livro didático – pois os números referentes a esse estudo de caso acabariam diluídos entre os números totais, e não se destacaria o caráter diferenciado dessa abordagem. A investigação dos livros didáticos revelou também como a obra de Garriz e Chamizo é diferenciada em relação às demais, mostrando que uma abordagem para o ensino de química, fundamentada na história da ciência, é possível. Outro aspecto a ser considerado é que a atualização em termos historiográficos se constitui em ponto importante para evitar que se perpetuem “mitos” sobre a ciência, como aqueles relacionados à síntese da ureia por Wöhler, os quais vêm sendo reproduzidos em livros didáticos há muito tempo.

Livros didáticos antigos também se constituem em relevantes materiais para estudo, considerando-os como objetos do passado da ciência. Nossas primeiras investigações já

renderam alguns resultados relevantes, que ajudam a traçar a trajetória da ciência química e de seu ensino ao longo do século XX. A transição de uma ciência experimental no início do século passado, para a ciência do submicroscópico e invisível por volta dos anos 1950, para uma ciência de interfaces e de aplicações tecnológicas cada vez mais refinadas, até a ciência da complexidade dos tempos mais recentes, foi marcada por mudanças nas estratégias de representação dos conteúdos químicos nos livros didáticos. Se, no início do século, as ilustrações referentes a processos industriais, experimentos e aparelhagens de laboratório eram mais numerosas, com o passar do tempo foram imagens gradativamente mais elaboradas, representando átomos e moléculas – entidades teóricas e conceituais – que se tornaram predominantes. Nos anos 1980, os livros didáticos traziam um grande número de ilustrações de fenômenos inacessíveis diretamente pelos nossos sentidos, bem como ilustrações contextualizando as aplicações do conhecimento químico. O desenvolvimento das técnicas gráficas ao longo do século permitiu a introdução de detalhes cada vez mais sofisticados das teorias químicas nas representações presentes nos livros didáticos. Certamente, tais mudanças e escolhas feitas por autores dos livros didáticos podem contribuir para um maior conhecimento das mudanças não apenas nos currículos e no ensino, mas também na epistemologia, que ocorreram na história da formação e consolidação da química como uma área específica do conhecimento. A principal contribuição de um estudo dessa natureza, para a comunidade do ensino de química, se refere à promoção de uma orientação crítica e analítica para nossa disciplina, não apenas do ponto de vista dos desenvolvimentos na base do conhecimento disciplinar, mas também como resultado de seus impactos no contexto social, cultural, político e econômico mais amplo. Buscamos, por meio da investigação dos livros utilizados ao longo do século XX, mostrar que o livro didático de química pode ser visto como uma expressão de um diálogo multifacetado entre a disciplina da química, seu contexto de ensino e aprendizagem, as características pessoais dos autores, e as forças exercidas pela sociedade de cada época.

Entendemos que ainda há muito a ser feito considerando-se essa linha de investigação, pois as possibilidades são amplas e promissoras. Uma dessas possibilidades é focalizar assuntos específicos dentro da química, acompanhando seu desenvolvimento como tema científico e como objeto de ensino. Por exemplo, podemos considerar o conceito de orbital, que se originou da mecânica quântica e foi incorporado aos modelos explicativos utilizados pelos químicos, convenientemente modificado em relação ao conceito original. Acompanhar a incorporação desse conceito nos livros didáticos de química, inicialmente no âmbito de uma introdução às ideias da mecânica quântica, e posteriormente como um conceito assimilado e

elaborado no âmbito de teorias químicas sobre estruturas de átomos e moléculas, é uma linha de investigação que temos interesse em desenvolver. O interesse se justifica pela importância do conceito de orbital, bem como pelos recentes debates em torno de questões ontológicas e epistemológicas relativas a esse conceito, desenvolvidos na literatura da área de filosofia da química. Diversos trabalhos foram motivados pela publicação, na revista *Nature*, de um artigo em que Zuo, Kim, O’Keeffe e Spence (1999) relataram haver observado orbitais diretamente. Editorial dessa edição afirmava que “a clássica forma dos orbitais dos elétrons apresentada nos livros didáticos foi observada diretamente” (Humphreys, 1999). Os debates que se seguiram se relacionam à questão do realismo científico e, mais especificamente, à questão ontológica do orbital, tendo implicações para a química e, especialmente, para o ensino de química. Assim, o estudo da inserção do conceito de orbital nos livros didáticos de química geral, ao longo do século XX, pode representar uma contribuição para essa temática.

Outra possibilidade a ser explorada é investigar como a tabela periódica dos elementos foi introduzida e apresentada nos livros de química geral selecionados. Neste caso, o interesse está relacionado ao fato de a tabela periódica ser um instrumento fundamental para o trabalho do químico, e por ela poder ser abordada de diferentes maneiras: tanto em contextos que valorizam aspectos descritivos, quanto naqueles que enfatizam os modelos estruturais, buscando explicar a estrutura da tabela periódica à luz de teorias sobre a estrutura atômica. Acreditamos que uma investigação dessa natureza pode contribuir para aprofundar a compreensão de como se manifestaram diferentes concepções a respeito da química e do ensino dessa ciência em diferentes momentos. Outros conceitos, presentes nos livros didáticos ao longo do tempo, também poderiam ser estudados sob essa perspectiva.

Os estudos que procuramos sistematizar neste texto abriram outras linhas de investigação, que estamos iniciando junto com nosso grupo de pesquisa. Diante do desenvolvimento contemporâneo da filosofia da química (vide, por exemplo, Schummer, 2010; Baird, Scerri & McIntyre, 2006; Scerri, 2008; Bhushan & Rosenfeld, 2000), entendemos que um olhar para a história da química pode contribuir para algumas questões pertinentes a essa área. Embora cientes das diferenças de abordagem características da história e da filosofia da ciência, acreditamos que o enfoque histórico pode revelar características da atividade química em diferentes momentos, contribuindo para reflexões de caráter mais geral sem, no entanto, pretender chegar a uma caracterização da química que seja universal ou completamente abrangente. Assim, questões sobre o realismo, as representações, a ética nas atividades químicas, são algumas temáticas que estão sendo abordadas em nosso grupo de pesquisa, e que pretendemos desenvolver mais no futuro.

Aprofundando a investigação das possibilidades oferecidas pelo referencial da historiografia da ciência contemporânea, tivemos a oportunidade de desenvolver diversos estudos de caso em história da ciência tendo em vista seu potencial didático. Cada um deles pode ser trabalhado de forma diferente, enfocando aspectos diversos da atividade científica. Por exemplo: os estudos de caso sobre as obras de Lavoisier, Dalton e Faraday podem ser trabalhados no sentido de discutir conceitos fundamentais da química. O caso de Faraday também pode ser discutido com professores em formação inicial ou continuada em termos de dificuldades e cuidados relacionados ao ensino de química. O caso de Augusto dos Anjos possibilita reflexões sobre atividades interdisciplinares no ensino médio. No âmbito da formação de profissionais de química, os casos da quinina, de Midgley e de Stammreich podem fomentar, especialmente, discussões sobre aspectos psicológicos e sociológicos envolvidos na atividade científica. Há, é claro, outras possibilidades. Um aspecto fundamental a considerar é que cada educador deve avaliar cuidadosamente o modo de apresentar e discutir um estudo de caso com seus alunos, pois isso depende dos objetivos educacionais pretendidos e das peculiaridades de cada grupo de estudantes. Baseado em um dado caso histórico, o educador precisa exercer sua autonomia em preparar materiais didáticos, selecionar as melhores estratégias para trabalhar com eles (por exemplo, discussões em grupos, questões dissertativas, mapas conceituais, etc.), e focar os aspectos que considere mais relevantes para seus alunos.

O uso de estudos de caso históricos para o ensino de ciências não é uma novidade. Já na década de 1950, os *Harvard Case Histories in Experimental Science*, editados por James B. Conant, foram publicados, e ainda se constituem em referência útil. Entretanto, é preciso considerar que, desde a época em que essa clássica série foi editada até os dias atuais, tanto a historiografia da ciência quanto o ensino de ciências passaram por importantes e profundas transformações. Mais do que isso, o mundo também passou por transformações, de modo que o processo educacional, em todos os níveis, não pode ter os mesmos objetivos que tinha no passado. Se desejamos atingir os objetivos da educação em ciências para o século XXI, temos que estabelecer diálogos entre os historiadores da ciência e os educadores em ciências: assim será possível produzir novas sínteses dos conhecimentos produzidos nas duas áreas, em benefício da formação dos estudantes. Por meio desses diálogos, será possível aprender, com a história da ciência, lições que ajudarão professores e alunos a compreender melhor as múltiplas e complexas formas de construção da ciência ao longo do tempo.

Referências Bibliográficas

- ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* 37, 1057-1095, 2000.
- ABREU, R. G.; GOMES, M. M.; LOPES, A. C. Contextualização e tecnologias em livros didáticos de biologia e química. *Investigações em Ensino de Ciências* 10, 405-417, 2005.
- ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, Biografia de Aloísio de Castro, s.d. Disponível em: <<http://www.academia.org.br/>>. Acessado em 12 de maio de 2009.
- ACS – AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. The Reed College conference on the teaching of chemistry. *Journal of Chemical Education* 35, 54-55, 1958.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. La epistemología en la formación de profesores de ciencias. *Revista Educación y Pedagogia* 18, 25-36, 2006.
- AGUIAR JR., O. G. Professores, reformas curriculares e livros didáticos de ciências: parâmetros para produção e avaliação do livro didático. In: *Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Londrina: SBF, 2006. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/atas/outros/junior.pdf>>. Acessado em 03 de outubro de 2007.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. Centenário Simão Mathias: Documentos, Métodos e Identidade da História da Ciência. *Circumscribere* 4, 5-9, 2008.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *Da alquímia à química*, 2ª. ed. São Paulo: Landy, 2001.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *O que é história da ciência*. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN M. H. R. (orgs.). *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: EDUC/Livraria Editora da Física/ Fapesp, 2004.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ M. H. M.; BELTRAN M. H. R. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN M. H. R. (orgs.). *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: EDUC/ Editora Livraria da Física/ Fapesp, 2004, p. 49-73.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ, M. H. M. As possíveis origens da química moderna. *Química Nova* 16, 63-68, 1993.
- ALLCHIN, D. How *not* to teach history in science. *The Pantaneto Forum* 7, Jul, 2002.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education* 13, 179-195, 2004.

ALONSO, A. V.; MAS, M. A. M. Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias* 17, 377-395, 1999.

ALVES, M. M. *Beabá dos MEC-USAID*. Rio de Janeiro: Edições Gernasa, 1968.

ANDRIOLLI, A. I. O científico e o ideológico. *Revista Espaço Acadêmico* 29, 2003. Disponível em: <<http://www.camp.org.br/texto31.htm>>. Acessado em 11 de setembro de 2008.

ANJOS, A. dos. *Eu e outras poesias*, 40ª edição. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1995.

ARONS, A. *Isis* 64, 4, 542 – 543, 1973.

ARQUIVO HANS STAMMREICH, Carta de Lord Marley (Londres) a Stammreich, 29 de agosto de 1935 (traduzida do inglês para o francês; a carta original, em inglês, não consta do arquivo).

ARQUIVO HANS STAMMREICH, Carta de Stammreich a Alfredo Pereira de Queiroz (São Paulo), 23 de janeiro de 1946 (1946a).

ARQUIVO HANS STAMMREICH, Carta de Stammreich a Alfredo Pereira de Queiroz (São Paulo), 13 de maio de 1946 (1946b).

ARQUIVO HANS STAMMREICH, Carta-convite de S. Wawilow (Leningrado) a Stammreich, 5 de setembro de 1935.

ARQUIVO HANS STAMMREICH, *Curriculum vitae* não datado (ca. 1941 – 1944).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HISTÓRIA ORAL. Estatuto social da Associação Brasileira de História Oral. *Boletim Eletrônico ABHO* 27, 2004. Disponível em: <www.historiaoral.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=27>. Acessado em 10 de dezembro de 2008.

ATKINS, P. W.; JONES, L. *Princípios de Química*. Ignez Caracelli *et alii* trads. Porto Alegre: Bookman, 1999.

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico*. E. S. Abreu trad. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACHELARD, G. *A Psicanálise do Fogo*. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

BAIRD, D.; SCERRI, E.; McINTYRE, L. (eds.) *Philosophy of Chemistry – synthesis of a new discipline*. Dordrecht: Springer, 2006.

BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. Variações da história da ciência no ensino de ciências. In: MORTIMER, E. F. (org.) *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)*. Belo Horizonte: FAE/UFMG, 2008a. CD-ROM.

- BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. Michael Faraday e *A História Química de Uma Vela*: Um estudo de caso sobre a didática da ciência. *Química Nova na Escola* 30, 16-23, 2008b.
- BALL, P. Quinine steps back in time. *Nature* 451, 1065-1066, 2008.
- BARREIRO, E. J. Produtos naturais bioativos de origem vegetal e o desenvolvimento de fármacos. *Química Nova* 13, 29-39, 1990.
- 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.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. *História da Química*. Lisboa: Instituto Piaget, 1992.
- BEZERRA, R.; BITTENCOURT, C. M. F. Higiene e Saúde nos livros didáticos do professor Felisberto de Carvalho (1880-1960). In: *Anais do VI Congresso Luso-Brasileiro de História da Educação*. Uberlândia: UFB, 2006. Disponível em: <<http://www.faced.ufu.br/colubhe06/anais/arquivos/apresentacao.htm>>. Acessado em 10 de outubro de 2008.
- BHUSHAN, N; ROSENFELD, S. *Of minds and molecules: new philosophical perspectives on chemistry*. Nova York: Oxford, 2000.
- BIZZO, N. M. V. História da ciência e ensino: onde terminam os paralelos possíveis? *Em Aberto* 11, no. 55, 29-35, 1992.
- BRAATHEN, P. C. Desfazendo o mito da combustão da vela para medir o teor de oxigênio no ar. *Química Nova na Escola* 12, 43-45, 2000.
- BRAM, G.; ANH, N. T. The difficult marriage of theory and French organic chemistry in the 20th century. *Journal of Molecular Structure* 424, 201-206, 1998.
- BRASIL – Ministério da Educação – Secretaria de Educação Básica – Departamento de Políticas de Ensino Médio. *Orientações Curriculares do Ensino Médio*. Brasília, 2004.
- BRASIL – Ministério da Educação – Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio – Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília, 2002.
- BRASIL – Ministério da Educação – Conselho Nacional de Educação/Câmara de Educação Superior (CNE/CES). *Diretrizes Nacionais para os Cursos de Química*. Parecer CNE/CES 1303/2001, 06 de novembro de 2001. Relator Francisco César de Sá Barreto. Brasília, Diário Oficial da União de 07 de dezembro de 2001, seção 1, p. 25.
- BRASIL – Ministério da Educação – Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)*. Brasília, 1999.
- BRITO, Angmary; RODRIGUEZ, Maria A.; NIAZ, Mansoor. A Reconstruction of

- Development of the Periodic Table Based on History and Philosophy of Science and Its Implications for General Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* 42, 84-111, 2005.
- BROCK, W. H. *The Norton history of chemistry*. New York: Norton, 1993.
- BROOKE, J. H. Wöhler's urea, and its vital force? A verdict from the chemists. *Ambix* 15, 84-114, 1968.
- BRUSH, S. G. Why Chemistry Needs History – and How It Can Get Some. *Journal of College Science Teaching* 7, 288-291, 1978.
- BRUSH, S. G. Should the history of science be rated X? *Science* 183, 1164 – 1172, 1974.
- BRUSH, S. G.; KING, A. L., eds. *History in the teaching of physics*. Hanover (EUA): University Press of New England, 1972.
- CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. (orgs.) *A Necessária Renovação do Ensino das Ciências*. São Paulo: Cortez, 2005.
- CAMARGO, E. P. A malária encenada no grande teatro social. *Estudos Avançados* 9, 211-228, 1995.
- CAMPANARIO, J. M. ¿Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales. *Enseñanza de las Ciencias* 19, 351-364, 2001.
- CAMPOS, F. Reforma do Ensino Secundário (Decreto 19890, 18 de abril de 1931). In: *O Ensino Secundário no Brasil e Sua Atual Legislação: de 1931 a 1941 inclusive*. São Paulo: Oficinas de José Magalhães, 1942.
- CANGUILHEM, G. *Ideologia e racionalidade nas ciências da vida*. E. Piedade trad. Lisboa: Edições 70, 1977.
- CANGUILHEM, G. O objeto da história das ciências. *Tempo Brasileiro* 28, 7-21, 1972.
- CANTOR, G. Educating the judgment: Faraday as a lecturer. *Bulletin for the History of Chemistry* 11, 28-36, 1991.
- CAVICCHI, E. Faraday and Piaget: experimenting in relation with the world. *Perspectives on Science* 14, 66-96, 2006.
- CHALMERS, A. *O que é ciência afinal?* Trad. Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993.
- CHALMERS, A. Retracing the Ancient Steps to Atomic Theory. *Science & Education* 7, 69-84, 1998.
- CHAMIZO, J. A. Teaching modern chemistry through ‘recurrent historical teaching models’. *Science & Education* 16, 197-216, 2007.

CHELONI, F., LEME, M. A. A., PORTO, P. A. Concepções de licenciandos em química da USP-São Paulo sobre a história da ciência a partir de uma abordagem biográfica. *29ª. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, ED-035, 2006. Disponível em: <<https://sec.s bq.org.br/resumos/29RA/T0680-2.pdf>>. Acessado em 24 de setembro de 2008.

CHOPPIN, A. *Conferência de abertura do Simpósio Internacional Livro Didático: Educação e História*. 5 de novembro de 2007. Faculdade de Educação – USP, São Paulo.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. *Educação e Pesquisa* 30, 549-566, 2004.

COHEN, P. S.; COHEN, S. M. Wöhler's synthesis of urea: how do the textbooks report it. *Journal of Chemical Education* 73, 883-886, 1996.

COLLINS, H.; PINCH, T. *O Golem – o que você deveria saber sobre ciência*. L. C. B. Oliveira trad. São Paulo: Editora Unesp, 2003.

CONANT, J. B. (ed.). *Harvard Case Histories in Experimental Science*, 2 vols. Cambridge (USA): Harvard University Press, 1957.

COPPOLA, B. P.; SMITH, D. H. A case for ethics. *Journal of Chemical Education* 73, 33-34, 1996.

CORACINI, M. J. *Interpretação, autoria e legitimação do livro didático*. São Paulo: Pontes, 1999.

CORRÊA, R. L. T. O livro escolar como fonte de pesquisa em História da Educação. *Cadernos CEDES* 20, 11-23, 2000.

CORREIA, C. R. D.; COSTA, P. R. R.; FERREIRA, V. F. Vinte e cinco anos de reações, estratégias e metodologias em química orgânica. *Química Nova* 25, sup. 1, 74-81, 2002.

COSTA, V. C. *et alii*. Lavoisier: novamente alvo de uma avaliação diagnóstica, trabalho HC-006 apresentado no *XIII Encontro Nacional de Ensino de Química*, UNICAMP, Campinas, SP, 24 a 27 de julho de 2006.

CRAWFORD, E. Michael Faraday on the learning of science and attitudes of mind. *Science & Education* 7, 203-211, 1998.

CUNHA, M. I. Conta-me agora! As narrativas como alternativas pedagógicas na pesquisa e no ensino. *Revista da Faculdade de Educação* 23, 185-195, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-25551997000100010&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acessado em 24 de novembro de 2008.

DAGHER, Z. R. How some college students represent their understandings of the nature of scientific theories. *International Journal of Science Education* 26, 735-755, 2004.

- DALTON, J. *A New System of Chemical Philosophy* (reprint of Part I, 1808). New York: Philosophical Library, 1964.
- DALTON, J. Experimental Essays. *Manchester Memoirs* 5, 535-603, 1802.
- DALTON, J. Observations on Dr. Bostock's Review of the Atomic Principles of Chemistry. *Nicholson's Journal* 29, 143-151, 1811.
- DALTON, J. On the Absorption of Gases by Water and Other Liquids. *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester* 2(1), 271-287, 1805.
- DEBUS, A. G. A ciência e as humanidades: a função renovadora da indagação histórica. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* 5, 3-13, 1991a.
- DEBUS, A. G. A Longa Revolução Química. *Ciência Hoje* 13 (77), 34-43, 1991b.
- DEBUS, A. G. The relationship of science-history to the history of science. *Journal of Chemical Education* 48, 804-805, 1971.
- DEMARTINI, Z. B. F. Histórias de vida na abordagem de problemas educacionais. In: VON SIMSON, O. M. (org.). *Experimentos com histórias de vida: Itália-Brasil*. São Paulo: Vértice/Revista dos Tribunais, 1988, p. 44-105.
- DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. *Ciência e Educação* 10, 517-530, 2004.
- DIAZ, M. J. M. Enseñanza de las Ciencias? Para qué? *Revista Electrónica Enseñanza de las Ciencias* 1, 1-6, 2002. Disponível em: <www.saum.uvigo.es/reec/volumenes.htm>. Acessado em 26 de setembro de 2011.
- DIBATTISTA, L.; MORGESE, F. Introducing history (and philosophy) of science in the classroom: a field research experience in Italy. *Science & Education*, OnLine First, 2012.
- DIMOPOULOS, K.; KOULALIDIS, V.; SKLAVENITI, S. Towards an analysis of visual images in school science textbooks and press articles about science and technology. *Research in Science Education* 33, 189-206, 2003.
- du PONT, E. F. What industry expects of its chemists. *Journal of Chemical Education* 14, 265, 1937.
- DUNBAR, R. E. Changing concepts of major topics in college general chemistry textbooks. *Journal of Chemical Education* 17, 370-373, 1940.
- DUSCHL, R. A. Research in history and philosophy of science. In: Gabel, D. L. (ed.) *Handbook of research in science teaching and learning*. Nova York: Macmillan, 1994, pp. 443-465.
- DUSCHL, R. A. *Restructuring science education: the importance of theories and their development*. Nova York: Teachers College Press, 1990.

- DUSCHL, R. A. Science education and philosophy of science: twenty-five years of mutually exclusive development. *School Science and Mathematics* 87, 541-555, 1985.
- DUSCHL, R. Using and abusing: relating history of science to learning and teaching science. In: FLICK, L. & LEDERMAN, N. (eds.) *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning and teacher education*. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 2005.
- ECHEVERRIA, A., MELLO, I. C., GAUCHE, R. O programa nacional do livro didático de química no contexto da educação brasileira. In: ROSA, M. I. P.; ROSSI, A. V. (orgs.). *Educação química no Brasil: memórias, políticas e tendências*. Campinas: Editora Átomo, 2008, p. 63-83.
- FANGERAU, H.; MÜLLER, I. National Styles? Jacques Loeb's analysis of German and American science around 1900 in his correspondence with Ernst Mach. *Centaurus* 47, 207-225, 2005.
- FARADAY, M. *A Course of Six Lectures on the Chemical History of a Candle*. William Crookes ed. New York: Harper and Brothers, 1861.
- FARADAY, M. *A Course of Six Lectures on the Chemical History of a Candle*. Mineola, NY: Dover Publications Inc., 2002.
- FARADAY, M. *A história química de uma vela; As forças da matéria*. Vera Ribeiro trad. Introdução de James Clerk Maxwell. Rio de Janeiro: Contraponto, 2003.
- FARRAR, W.V.; FARRAR, K. R.; SCOTT, E. L. The Henrys of Manchester. Part 3: William Henry and John Dalton. *Ambix* 21, 208-228, 1974.
- FELTRE, R. *Química Geral*. São Paulo: Editora Moderna, 2000.
- FERNANDES, A. T. C. Livros didáticos em dimensões materiais e simbólicas. *Educação e Pesquisa* 30, 531-545, 2004.
- FERNANDES, M. A. M.; PORTO, P. A. Investigando a presença da história da ciência em livros didáticos de química geral para o ensino superior. *Química Nova* 35, 420-429, 2012.
- FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* 20, 477-488, 2002.
- FERRAZ, M. H. M. A um passo da teoria atômica. *Ciência Hoje* 35, no. 211, 81-83, 2004.
- FERRAZ, M. H. M. A Lei de Henry. *Ciência Hoje* 34, no. 199, 75-77, 2003.
- FERRAZ, M. H. M. Dalton, os estudos sobre a atmosfera e a matéria. *Ciência Hoje* 30, no. 176, 78-79, 2001.

- FERRAZ, M. H. M. Los estudios sobre las quinas em la literatura química-médica portuguesa de los inicios del siglo XIX. In: PASTRANA, P. A. (org.) *Farmacia, Historia natural y Química Intercontinentales: estudios de historia social de las ciencias químicas y biológicas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 1995, p. 189-201.
- FERRAZ, M. H. M.; ALFONSO-GOLDFARB, A. M. O perigo de transpor nossas ideias a outros períodos históricos: um estudo de caso sobre as equações químicas. In: *35a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindoia, SP, 28 a 31 de maio de 2012*. São Paulo: SBQ, 2012. Disponível em: <<http://adaltech.com.br/testes/sbq/resumos/T0874-1.pdf>>. Acessado em 22 de agosto de 2012.
- FLEMING, R. S. Newton, Gases, and Daltonian Chemistry: the foundations of combination in definite proportion. *Annals of Science* 31, 561-574, 1974.
- FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Cadernos Brasileiros de Ensino de Física* 28, 27-59, 2011.
- FOUREZ, G. *A construção das ciências*. São Paulo: UNESP, 1995.
- FOUREZ, G. A. Crise no ensino de ciências? *Investigação em Ensino de Ciências* 8, 1-19, 2004.
- FRACALANZA, H. A pesquisa sobre o livro didático de ciências no Brasil. In: ROSA, M. I. P. (org), *Formar: encontros e trajetórias com professores de ciências*. São Paulo: Escrituras, 2005, p. 41-80.
- FRACALANZA, H.; AMARAL, I. A.; GOUVEIA, M. S. F. *O ensino de ciências no primeiro grau*. São Paulo: Editora Atual, 1987.
- FRACALANZA, H.; MEGID NETO, J. *O livro didático de ciências no Brasil*. Campinas: Komedi, 2006.
- FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. A produção do conhecimento sobre o ensino de química nas Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química: uma revisão. *Química Nova* 31, 2100-2110, 2008.
- FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. Análise de dissertações produzidas sobre livros didáticos de química em programas de pós-graduação em ensino de ciências e matemática. In: R. Gauche (coord.), *Anais do XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ)*, CD-ROM. Brasília, 2010, R0807-2.
- FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- FURIÓ-MÁS, C. J.; PEREZ, J. H.; HARRIS, H. H. Parallels between adolescents' conception of gases and the history of chemistry. *Journal of Chemical Education* 64, 616-618, 1987.

- GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 6, 291-295, 1988.
- GARRETT, A. B. Lead tetraethyl: Thomas Midgley Jr., T.A. Boyd and C.A. Hochwalt. *Journal of Chemical Education* 39, 414-415, 1962.
- GARRETT, M. W. Experiments to test the possibility of transmutation by electronic bombardment. *Proceedings of the Royal Society* 114, 289-292, 1927.
- GARRETT, M. W. Experiments upon the reported transmutation of mercury into gold. *Proceedings of the Royal Society* 112, 391-406, 1926.
- GARRITZ-RUIZ, A.; CHAMIZO, J. A. *Química*. São Paulo: Pearson, 2000.
- GEPEQ (Grupo de Pesquisa em Educação Química: PITOMBO, L. R. M.; MARCONDES, M. E. R. [coords.]; VIDOTTI, I. M. G.; LISBOA, J. C. F.; PORTO, P. A.; ESPIRIDIANO, Y. M.). *Interações e Transformações III – A Química e a Sobrevivência – Atmosfera – fonte de materiais*, 2ª. ed. São Paulo: EDUSP, 2000.
- GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P. *Formação de professores de ciências*. São Paulo: Cortez, 2003.
- GIL-PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência e Educação* 7, 125-153, 2001.
- GÓIS DA SILVA, J. *A significação de representações químicas e a filosofia de Wittgenstein*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.
- GÓMEZ-IBÁÑEZ, J. D. Basic courses in chemistry. *Pure and Applied Chemistry* 31, 361-366, 1972.
- GOODAY, G. U-rated not X-rated: reassessing how science students could benefit from learning history of science. *The Higher Education Academy – Subject Centre for Philosophical & Religious Studies*, p. 1-9, 2010. Disponível em: <<http://prs.heacademy.ac.uk/pdf.html/prsdocuments/68>>. Acessado em: 20 de agosto de 2012.
- GOODAY, G.; LYNCH, J. M.; WILSON, K. G.; BARSKY, C. K. Does science education need the history of science? *Isis* 99, 322-330, 2008.
- GURIDI, V.; ARRIASSECQ, I. Historia y filosofía de las ciencias en la educación polimodal: propuesta para su incorporación al aula. *Ciência e Educação* 10, 307-316, 2004.
- HALL, N. *Neoquímica: a química moderna e suas aplicações*. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- HALLEWELL, L. *O livro no Brasil: sua história*, 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2005.
- HAMMOND, G. S. Restructuring of chemistry and chemical curricula. *Pure and Applied Chemistry* 22, 3-16, 1970.

- HAMMOND, G. S.; NYHOLM, R. The structure of Chemistry. *Journal of Chemical Education* 48, 6-13, 1971.
- HARWOOD, J. National styles in science: genetics in Germany and the United States between the World Wars. *Isis* 78, 390-414, 1987.
- HAUSER, E. A. This nation will need more chemists after the war. *Journal of Chemical Education* 20, 513, 1943.
- HENRY, W. *Philosophical Transactions* 93, 29-42, 274-276, 1803.
- HERSHEY, D. A case study of academic misconduct, peer review failures and journal coverups of published errors, 2004. Disponível em <<http://helmont1.tripod.com/>>. Acessado em: 14 de agosto de 2007.
- HERSHEY, D. Pseudohistory and pseudoscience: corrections to Allchin's historical, conceptual and educational claims. *Science & Education* 15, 121-125, 2006.
- HERSHEY, D. Two Views on Helmont. *Journal of College Science Teaching* 31, 424-425, 2002.
- HILL, C. *O mundo de ponta cabeça*. Renato Janine Ribeiro trad. São Paulo: Companhia das Letras, 1987.
- HODSON, D. *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values*. Rotterdam: Sense Publishers, 2009.
- HODSON, D. *Towards scientific literacy: a teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers, 2008.
- HODSON, D. Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education* 72, 19-40, 1988.
- HODSON, D. Philosophy of science and the science curriculum. *Journal of Philosophy of Education* 20, 241-251, 1986.
- HOLTON, G. What historians of science and science educators can do for one another. *Science & Education* 12, 603-616, 2003.
- HOLTON, G. On the educational philosophy of the project physics course. In: HOLTON, G. (ed.) *The scientific imagination: case studies*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978, pp. 284-298.
- HOLTON, G. Science, science teaching and rationality. In: HOOK, S.; KURTZ, P.; TODOROVICH, M. (eds.) *The philosophy of the curriculum*. Buffalo: Prometheus Books, 1975, 101-118.
- HÖTTECKE, D. How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study. *Science & Education* 9, 343-362, 2000.

- HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education* 20, 293-316, 2011.
- HUMPHREYS, C. J. Electrons seen in orbit. *Nature* 401, 21-22, 1999.
- IHDE, A. J. *The Development of modern chemistry*. New York: Dover, 1984.
- IRWIN, A. Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education* 84, 5-26, 2000.
- IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education* 20, 591-607, 2011.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. School chemistry: an historical and philosophical approach. *Science & Education*, OnLine First, 2012.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. La enseñanza de la química frente a los retos del tercer milenio. *Educación Química* 17, 286-299, 2006.
- JACOBS, M. Editorial. *Chemistry and Engineering News* 79, 19, 2001.
- JUSTI, R. Teaching with historical models. In: GILBERT, J. K.; BOUTLER, C. J. (eds.) *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer, 2000, p. 209-226.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. K. History and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science & Education* 8, 287-307, 1999a.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. K. A cause of ahistorical science teaching: use of hybrid models. *Science Education* 83, 163-177, 1999b.
- KHALICK, A.; LEDERMAN, N. Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education* 22, 665-701, 2000.
- KING, F. T.; LIPPINCOTT, E. R. The Raman spectrum and thermodynamic properties of iron pentacarbonyl. *Journal of the American Chemical Society* 78, 4192-4197, 1956.
- KLEIN, M. The use and abuse of historical teaching in physics. In BRUSH, S. G.; KING, A. L., eds. *History in the teaching of physics*. Hanover (EUA): University Press of New England, 1972.
- KOSMINSKY, L.; GIORDAN, M. Visões de ciência e sobre cientista entre estudantes do ensino médio. *Química Nova na Escola* 15, 11-18, 2002.
- KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. *Química e Reações Químicas*. J. A. P. Bonapace e O. E. Barcia trads. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002.
- KOVAC, J. Professionalism and ethics in chemistry. *Foundations of Chemistry* 2, 207-219, 2000.
- KOVAC, J. Scientific ethics in chemical education. *Journal of Chemical Education* 73, 926-

928, 1996.

KRAGH, H. *An introduction to the historiography of science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*, 3a. ed. B. V. Boeira e N. Boeira trads. São Paulo: Perspectiva, 1990.

KUHN, T. S. *A tensão essencial*. R. Pacheco trad. Lisboa: Edições 70, 1989.

KUHN, T. S. Notes on Lakatos. *Boston Studies in the Philosophy of Science* 8, 137-146, 1971.

KUHN, T. S. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, 1970.

LAKATOS, I. *História da ciência e suas reconstruções racionais*. E. P. T. M. Mendes trad. Lisboa: Edições 70, 1997.

LAN, B. L.; LIM, J. B. S. Michael Faraday: Prince of Lecturers in Victorian England. *The Physics Teacher* 39, 32-36, 2001.

LAPPERT, M. F.; MURRELL, J. N. John Dalton, the Man and His Legacy: the Bicentenary of His Atomic Theory. *Dalton Transactions* 20, 3811-3820, 2003.

LATOUR, B. *Science in action: how to follow scientists and engineers through society*. Cambridge: Harvard University Press, 1987.

LAVOISIER, A. L. *Elements of Chemistry*. R. Kerr trad. Edinburgh: Willian Creech, 1790.

LAVOISIER, A. L. *Tratado Elementar de Química*, L. S. P. Trindade trad. São Paulo: Madras, 2007.

LAWSON, A. The generality of the hypothetico-deductive method: making scientific thinking explicit. *American Biology Teacher* 62, 482-495, 2000.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present, and future. In Abell, S. K.;

LEDERMAN, N. G. (eds.) *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007, pp. 831-880.

LEDERMAN, N. G. Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In: FLICK, L. B.; LEDERMAN, N. G. (eds.) *Scientific inquiry and nature of science*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2004, pp. 301-317.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching* 29, 331-359, 1992.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' understanding of the nature of science: a reassessment. *School Science and Mathematics* 86, 91-99, 1986.

- LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R. S. Views of nature of science questionnaire: towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* 39, 497-521, 2002.
- LEITE, L. History of science in science education: development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. *Science & Education* 11, 333-359, 2002.
- LIPMAN, T. O. Wohler's preparation of urea and the fate of vitalism. *Journal of Chemical Education* 41, 452-458, 1964.
- LOGUERCIO, R. Q. A dinâmica de analisar livros didáticos com professores de química. *Química Nova* 24, 557-562, 2001.
- LOPES, A. R. C. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química I – obstáculos animistas e realistas. *Química Nova* 15, 254-261, 1992.
- LOPES, C. V. M. *Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica*. Tese de Doutorado. Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2009.
- LUCRÉCIO CARO, T. *Da natureza*. A. da Silva trad. In: Os Pensadores, vol. 5. São Paulo: Editora Abril, 1973.
- LYMAN, P. *Conference on Scholarly Communication and Technology*. Atlanta, Georgia, USA, 1997. Disponível em: <<http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED414931.pdf>>. Acessado em: 11 de janeiro de 2011.
- LYOTARD, J. F. *The postmodern condition*. Manchester: Manchester University Press, 1984.
- LYTHCOTT, J. "Aristotelian" was given as the answer, but what was the question? *American Journal of Physics* 53, 428- 431, 1985.
- MACHADO, N. *Ensaio transversais: cidadania e educação*. São Paulo: Escrituras, 1997.
- MAIENSCHIN, J. Why study history for science. *Biology and Philosophy* 15, 339-348, 2000.
- MALDANER, O. A. Concepções epistemológicas no ensino de ciências. In: SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. *Ensino de ciências: fundamentos e abordagens*. Campinas: Vieira, 2000.
- MARTINS, L. A.-C. P. Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada. *Filosofia e História da Biologia* 4, 65-100, 2009.

- MARTINS, R. A. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA C. C. (org.) *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para a aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. xvii-xxx.
- MARTINS, R. A. Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (orgs.) *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: Livraria da Física/EDUC/FAPESP, 2004. p. 115-145.
- MARTINS, R. A. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. *Acta Scientiarum* 21, 823-835, 1999.
- MATHIAS, S. *Cem anos de Química no Brasil*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975. (Coleção da Revista de História, 63).
- MATTHEWS, M. R. Changing the focus: from nature of science (NOS) to features of science (FOS). In: KHINE, M. S. (ed.) *Advances in nature of science research*. Dordrecht: Springer, 2012, p. 3-26.
- MATTHEWS, M. R. (ed.) *Science, worldviews and education*. Dordrecht: Springer, 2009.
- MATTHEWS, M. R. In defense of modest goals for teaching about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* 35, 161-174, 1998.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física* 12, 164-214, 1995.
- MATTHEWS, M. R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. Nova York: Routledge, 1994.
- MATTHEWS, M. R. History, philosophy and science teaching: the present rapprochement. *Science & Education* 1, 11-48, 1992.
- MATTHEWS, M. R. Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación* 11-12, 141-155, 1991.
- MAUSKOPF, S. H. Introduction. In: MAUSKOPF, S. H. (ed.) *Chemical Sciences in the Modern World*. Filadélfia: University of Pennsylvania Press, 1993.
- MAYR, E. *The growth of biological thought*. Cambridge: The Belknap Press, 1982.
- McCOMAS, W. F. (ed.) *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1998.
- McCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. P.; ALMAZROA, H. The role and character of the nature of science in science education. In: McCOMAS, W. F. (ed.) *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1998, p. 3-39.
- McGRAYNE, S. B. *Prometheans in the lab: chemistry and making new world*. Nova York:

Mc-GrawHill, 2002.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. *Ciência & Educação* 9, 147-157, 2003.

MEIHY, J. C. S. B. *Manual de História Oral*. São Paulo: Loyola, 2005.

METZ, D.; KLASSEN, S.; MCMILLAN, B. A.; CLOUGH, M.; OLSON, J. Building a foundation for the use of historical narratives. *Science & Education* 16, 313-334, 2007.

MIDGLEY, Jr., T. From the periodic tabel to production. *Industrial and Engineering Chemistry* 29, 241-244, 1937.

MIDGLEY, Jr., T. Chemistry in the next century. *Industrial and Engineering Chemistry* 27, 494-498, 1935.

MIDGLEY, Jr., T.; HENNE, A. L. Organic Fluorides as Refrigerants. *Industrial and Engineering Chemistry* 22, 542-545, 1930.

MIETHE, A. Der Zerfall des Quecksilberatoms. *Die Naturwissenschaften* 12, 597-598, 1924.

MOL, G. S.; SANTOS, W. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. Livro didático inovador e professores: uma tensão a ser vencida. *Ensaio: Pesquisa e Educação em Ciências* 7, 119-130, 2005.

MONAGHAN, P. K.; COYNE, M. The periodic table – a personal survey. *Education in Chemistry* 25, 139-141, 1988.

MOORE, W. C. Industry's interest in the Professional training of chemists'. *Journal of Chemical Education* 18, 576-580, 1941.

MORTIMER, E. F. A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário. *Em Aberto* 7, 25-41, 1988.

MURPHY, W. J. Chemistry and chemical engineering curricula in the postwar era. *Journal of Chemical Education* 24, 376-379, 1947.

NAGAOKA, H. Note préliminaire sur la transmutation du mercure en or. *Le Journal de Physique et le Radium* 6, 209-216, 1925.

NAGAOKA, H. Preliminary note on the transmutation of mercury into gold. *Nature* 116, 95-96, 1925.

NASH, L. K. The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory. *Isis* 47, 101-116, 1956.

NATIONAL CURRICULUM COUNCIL. *Science in the National Curriculum*. York (Reino Unido), 1988.

NELSON, P. G. Presenting the periodic table. *Education in Chemistry* 25, 185-187, 1988.

NEWTON, I. *Newton's Principia*. Andrew Motte trad. Nova York: Daniel Adee, 1848.

- NEWTON, I. *Opticks, or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, 4th edition. London: William Innys, 1730.
- NIAZ, M. Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science & Education* 18, 43-65, 2009.
- NIAZ, M. Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry. *International Journal of Science Education* 24, 425-439, 2002.
- NIAZ, M. A rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks. *International Journal of Science Education* 23, 623-641, 2001a.
- NIAZ, M. How important are the laws of definite and multiple proportions in chemistry and teaching chemistry? A history and philosophy of science perspective. *Science & Education* 10, 243-266, 2001b.
- NIAZ, M. The oil drop experiment: a rational reconstruction of the Millikan-Ehrenhaft controversy and its implications for chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* 37, 480-508, 2000a.
- NIAZ, M. A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. *Instructional Science* 28, 23-50, 2000b.
- NIAZ, M. From cathode rays to alpha particles to quantum of action: a rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. *Science Education* 82, 527-552, 1998.
- NIAZ, M. Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: a Lakatosian interpretation. *Science Education* 79, 19-36, 1995.
- NICHOLSON, D. G. Trends: What's happening to descriptive inorganic chemistry? *Journal of Chemical Education* 33, 391-392, 1956.
- NICKLES, T. Philosophy of science and history of science. *Osiris* 10, 139-163, 1995.
- NIELSEN, H.; THOMSEN, P. History and philosophy of science in the Danish curriculum. *International Journal of Science Education* 12, 308 – 316, 1990.
- NYE, M. J. National styles? French and English chemistry in the nineteenth and early twentieth centuries. *Osiris* 8, 30-49, 1993.
- OBA, R. *Universidade de São Paulo – seus reitores e seus símbolos*. São Paulo: EDUSP, 2006.
- OLIVEIRA, J. B. A.; GUIMARÃES, S. D. P.; BOMÉNY, H. M. B. *A política do livro didático*. São Paulo: Summus, 1984.

OTTO, A.; SCHRADER, B. *Geschichte der Physik: Hans Stammreich*. Disponível em: <<http://www.fkphy.uni-duesseldorf.de/geschichte.html>>. Acessado em: 07 de maio de 2009.

PAIXÃO, F.; CACHAPUZ, A. Mudanças na prática de ensino de química pela formação dos professores em história e filosofia das ciências. *Química Nova na Escola* 18, 31-36, 2003.

PARTINGTON, J. R. *A History of Chemistry*, vol 3. London: MacMillan, 1962.

PAULA, M. F. A formação universitária no Brasil: concepções e influências. *Avaliação* 14, 71-84, 2009.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Ed.UFSC, 2001, pp. 151-170.

PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. D. Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias* 20, 369-386, 2002.

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

PESSOA JR., O. Quando a abordagem histórica deve ser usada no Ensino de Ciências? *Ciência & Ensino* 1, 4-6, 1996.

PETRUCCI, D.; URE, M. C. B. Imagen de la ciencia en alumnos universitarios: una revisión y resultados. *Enseñanza de las Ciencias* 19, 217-229, 2001.

PIAGET, J.; GARCIA, R. *Psicogênese e história das ciências*. Lisboa: Dom Quixote, 1987.

PICKSTONE, J. V. Past and present knowledges in the practice of the history of science. *History of Science* 33, 203-224, 1995.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W. L. P. e MALDANER, O. A. (orgs.) *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Editora Unijuí, 2010a, p. 159-180.

PORTO, P. A. Investigação sobre o comportamento dos gases. *Ciência Hoje* 46, no. 274, 75-77, 2010b.

PORTO, P. A. Augusto dos Anjos: Ciência e Poesia. *Química Nova na Escola* 11, 30-34, 2000.

PORTO, P. A. A presença da história da ciência no ensino vista por um grupo de licenciandos em química da USP – São Paulo. In: II ENCONTRO PAULISTA DE PESQUISA EM ENSINO DE QUÍMICA, Araraquara, SP, 2005. *Livro de Resumos*. Araraquara, SP: Instituto de Química – Unesp, 2005, p. 39.

- PORTO, P. A.; BALDINATO, J. O.; NAGY, J. A. Z. Michael Faraday e a química: análise, síntese e reatividade. In: *Anais da 1a. Conferência Latino-americana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group (1ª IHPST-LA)*, no prelo.
- PORTO, P. A.; CORIO, P.; FARIA, D. L. A. Investigando a trajetória científica de Hans Stammreich (1902-1969). In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; GOLDFARB, J. L.; Ferraz, M. H. M.; Waisse, S. (orgs.) *Centenário Simão Mathias: Documentos, Métodos e Identidade da História da Ciência*. São Paulo: PUC-SP, 2010, p. 255-268.
- PORTO, P. A.; CORIO, P.; FARIA, D. L. A. Hans Stammreich e a transmutação de mercúrio em ouro, 30a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química – Águas de Lindóia, SP, 2007. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/eventos/30rasbq/resumos/T1432-1.pdf>>. Acessado em: 08 de junho de 2009.
- PORTO, P. A.; CORIO, P.; FARIA, D. L. A. Hans Stammreich e o desenvolvimento de técnicas de espectroscopia Raman no Laboratório de Espectroscopia Molecular da USP, 31a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química – Águas de Lindóia, SP, 2008. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/eventos/31rasbq/resumos/T1315-2.pdf>>. Acessado em: 08 de junho de 2009.
- PORTO, P. A.; MILLEN, R. P. e FARIA, D. L. A. As pesquisas de Hans Stammreich (1902 – 1969) no Brasil, 29a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química – Águas de Lindóia, SP, 2006. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cd29ra/resumos/T2007-1.pdf>>. Acessado em: 18 de maio de 2012.
- PRESTES, M. E. B.; CALDEIRA, A. M. A. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia* 4, 1-16, 2009.
- PRIVEN, S. W. Idéias sobre matéria e vida, ou as várias “mortes” do vitalismo. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; ZATERKA, L.; FERRAZ, M. H. M. (orgs.) *Atas Cesima Ano X*. São Paulo: PUC/SP, 2006.
- PRÖSTENIK, M.; PRELOG, V. Synthetische Versuche in der Reihe der China-Alkaloide. (4. Mitteilung). Über Homo-merochinen und über die partielle Synthese des Chinotoxins. *Helvetica Chimica Acta* 26, 1965-1971, 1943.
- QUILL, L. L. The revision of chemistry and chemical engineering curricula - Introductory remarks. *Journal of Chemical Education* 24, 369-370, 1947.
- QUINTANEIRO, T. O mercado farmacêutico brasileiro e o esforço de Guerra norte-americano. *Estudos Históricos* 29, 141-164, 2002.
- QUINTANILLA, M; IZQUIERDO, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at

an early stage of the experimental science teachers' professional formation. IHPST 2005, Leeds, on line. Disponível em: <http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Quintinilla_Izquierdo_Aduriz-Bravo.pdf>. Acessado em: 22 de agosto de 2012.

RABE, P.; KINDLER, K. P. Über die partielle Synthese des Chinins. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* 51, 466–467, 1918.

RABE, P.; KINDLER, K. Über die Synthese des Dihydro-chinicins und der β -[γ -Piperidyl]-propionsäure. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* 52, 1842-1850, 1919.

RAMBERG, P. J. The death of vitalism and the birth of organic chemistry: Wöhler's urea synthesis and the disciplinary identity of organic chemistry. *Ambix* 47, 170-195, 2000.

REGNER, A. C. K. P. Entrevista: conversando com Roberto de Andrade Martins. *Episteme – Filosofia e História das Ciências em Revista* 11, 7-20, 2000.

REID, D. V.; HODSON, D. *Ciencia para todos en secundaria*. Madrid: Narcea, 1993.

REINGOLD, N. The peculiarities of the American or are there national styles in sciences? *Science in Context* 4, 346-366, 1991.

REIS FILHO, C. Transplante da educação européia no Brasil. *Revista Brasileira de História da Educação* 3, 115-129, 2002.

RENOLIET, J.-J. *L'UNESCO oubliée: l'Organisation de Coopération Intellectuelle (1921-1946)*. Paris: Sorbonne, 1999.

RHEINBOLDT, H. A química no Brasil. In: AZEVEDO, F. (ed.) *As ciências no Brasil*, vol. II. São Paulo: Melhoramentos, 1955.

RIBEIRO, M. L. S. *História da educação brasileira: a organização escolar*, 4. ed. São Paulo: Moraes, 1982.

RINENART, H. W. Educating for industry's needs. *Journal of Chemical Education* 24, 386, 1947.

ROBERTSON, G. R. Jobs for graduates in chemistry. *Journal of Chemical Education* 17, 386, 1940.

ROCKE, A. J. In Search of El Dorado: John Dalton and the origins of the atomic theory. *Social Research* 72, 125-158, 2005.

ROCKE, A. J. *Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro*. Columbus: Ohio State University Press, 1984.

RODRÍGUEZ, M. A.; NIAZ, M. How in Spite of the Rhetoric, History of Chemistry has Been Ignored in Presenting Atomic Structure in Textbooks. *Science & Education* 11, 423-441, 2002.

- SAITO, F. História da ciência e ensino: em busca de diálogo entre historiadores e educadores. *História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces* 1, 1-6, 2010.
- SALA, O. Vida e obra do Prof. Dr. Hans Stammreich, *Ciência e Cultura* 21, 785-794, 1969.
- SALTIEL, E.; VIENNOT, L. Que aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontaneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias* 3, 137-144, 1985.
- SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. Apresentação. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (orgs) *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Editora Unijuí, 2010, p. 13-22.
- SÃO PAULO (ESTADO), Secretaria da Educação, Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas. *Proposta Curricular para o Ensino de Química: 2o. Grau*, 2a. edição. São Paulo: SE/CENP, 1988.
- SCERRI, E. R. *Collected papers on philosophy of chemistry*. Londres: Imperial College Press, 2008.
- SCERRI, E. R. *The periodic table: its history and its significance*. New Oxford: University Press, 2007.
- SCHNETZLER, R. P. A pesquisa em ensino de química no Brasil: conquistas e perspectivas. *Química Nova* 25, supl. 1, 14 – 24, 2002.
- SCHULEMANN, W. La síntesis de remédios contra el paludismo. *Revista Medica Hondureña* A2, 48-59, 1932.
- SCHUMMER, J. Coping with the Growth of Chemical Knowledge. *Educación Química* 10, 92-101, 1999.
- SCHUMMER, J. Philosophy of chemistry. In: ALLHOFF, F. (ed.) *Philosophies of the sciences – a guide*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010, p. 163-183.
- SCHWARTZMAN, S. *Formação da comunidade científica no Brasil*. São Paulo: Nacional, 1979.
- SEEMAN, J. I. The Woodward-Doering/Rabe-Kindler total synthesis of quinine: setting the record straight. *Angewandte Chemie* 46, 1378-1413, 2007.
- SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S. Influências histórico-culturais nas representações sobre as estações do ano em livros didáticos de ciências. *Ciência e Educação* 10, 101-110, 2004.
- SENISE, P. *Origem do Instituto de Química: reminiscências e comentários*. São Paulo: Instituto de Química – USP, 2006.
- SEROGLOU, F.; KOUMARAS, P. The contribution of the history of physics in physics education: a review. *Science & Education* 10, 153-172, 2001.
- SEYFERTH, D. The rise and fall of Tetraethyllead 2. *Organometallics* 22, 5154-5178, 2003.

SHATTUCK, G. C. El costo de la quinina como grave obstáculo al adecuado tratamiento y dominio del paludismo. *IV Congreso de la Asociación Médica Panamericana*. Dallas, Texas, EUA, 1933. Disponível em <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=PAHO&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=41002&indexSearch=ID>>. Acessado em: 11 de setembro de 2008.

SJÖSTRÖM, J. Towards *Bildung*-oriented chemistry education. *Science & Education*, OnLine First, 2011.

SJÖSTRÖM, J. The discourse of chemistry (and beyond). *Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry* 13, 83-97, 2007.

SMART, J. J. C. Review: Science, History and Methodology. *The British Journal for the Philosophy of Science* 23, 3, 266 – 274, 1972.

SMITH, A. C.; WILLIAMS, R. M. Rabe rest in peace: confirmation of the Rabe-Kindler conversion of d-quinotoxine into quinine – Experimental affirmation of the Woodward-Doering formal total synthesis of quinine. *Angewandte Chemie* 47, 1736-1740, 2008.

SMITS, A. Transformations of elements. *Nature* 114, 609-610, 1924.

SMITS, A. Transmutation of elements. *Nature* 117, 13-15, 1926.

SMITS, A.; KARSSSEN, A. Vorläufige Mitteilung über einen Zerfall des Bleiatoms. *Die Naturwissenschaften* 13, 699, 1925.

SODDY, F. The reported transmutation of mercury into gold. *Nature* 114, 244-245, 1924.

SOLBES, J.; TRAVER, M. Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias* 19, 151-162, 2001.

SOLOMON, J. Social influences on the construction of pupil's understanding of science. *Studies in Science Education* 14, 63-82, 1987.

SOUZA, K. A. F. D.; MATE, C. H.; PORTO, P. A. História do uso do livro didático universitário: o caso do Instituto de Química da USP. *Ciência e Educação* 17, 679-694, 2011.

SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. A. Chemistry and Chemical Education Through Text and Image: Analysis of Twentieth Century Textbooks Used in Brazilian Context. *Science & Education* 21, 705-727, 2012a.

SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. A. History and Epistemology of Science in the Classroom: The Synthesis of Quinine as a Proposal. *Journal of Chemical Education* 89, 58-63, 2012b.

STAMMREICH, H.; SALA, O.; TAVARES, Y. Raman spectrum and structure of iron pentacarbonyl. *Journal of Chemical Physics* 30, 856-857, 1959.

STINNER, A.; MCMILLAN, B. A.; METZ, D.; JILEK, J. M.; KLASSEN, S. The renewal of case studies in science education. *Science & Education* 12, 617-643, 2003.

STORK, G.; NIU, D.; FUJIMOTO, A.; KOFT, E. R.; BALKOVEE, J. M.; TATA, J. R.; DAKE, G. R. The first stereoselective total synthesis of quinine. *Journal of the American Chemical Society* 123, 3239-3242, 2001.

STRONG, L. E.; BENFEY, O. T. Chemical concepts and the college chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education* 35, 164-167, 1958.

TALANQUER, V. School chemistry: the need for transgression. *Science & Education*, OnLine First, 2011.

TAMRES, M.; BAILARD, Jr., J. C. The course in general chemistry. *Journal of Chemical Education* 29, 217-219, 1952.

TAVARES, L. H. W. Os tipos de abordagem histórica no ensino: algumas possibilidades encontradas na literatura. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces* 2, 14-24, 2010.

THACKRAY, A. (ed.) *Osiris* 10, 1995.

THACKRAY, A. *John Dalton. Critical Assessments of his Life and Science*. Cambridge (USA): Harvard University Press, 1972.

THACKRAY, A. *Atoms and Powers*. Cambridge (EUA): Harvard University Press, 1970.

THOMPSON, P. *A voz do passado: história oral*, 3. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.

TOTA, A. P. *O imperialismo sedutor: a americanização do Brasil na época da segunda guerra*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

USKOKOVIĆ, M. R.; GUTZWILLER, J. Reinvestigation of the Classical Synthesis of *Cinchona* Alkaloids II. The synthesis of quinine and its naturally occurring diastereomers from quinotoxine. *Helvetica Chimica Acta* 56, 1494-1503, 1973.

USKOKOVIĆ, M. R.; GRETHE, G.; LEE, H. L. MITT, T., Reinvestigation of the classical synthesis of *Cinchona* alkaloids I. A new synthesis of homomeroquinene and quinotoxine *Helvetica Chimica Acta* 56, 1485-1494, 1973.

VANGELISTA, C. Da fala à história: notas em torno da legitimidade da fonte oral. In: LOPES, A. H.; VELLOSO, M. P.; PESAVENTO, S. J. (orgs.) *História e linguagens: texto, imagem, oralidade e representações*. Rio de Janeiro: 7Letras, 2006, p. 185-193.

VANIN, J. A. *Alquimistas e Químicos – o passado, o presente e o futuro*. São Paulo: Moderna, 1994.

VIANA, H. E. B.; CORIO, P.; PORTO, P. A. Ascensão e queda dos CFCs como estudo de caso: diferentes estágios de conscientização acerca de riscos químicos. *Enseñanza de las Ciencias*, volume extra, 2009, 1816-1819.

VIANA, H. E. B.; PORTO, P. A. Midgley e a tabela periódica: o desenvolvimento de novas moléculas na primeira metade do século XX. In: *Anais da 1a. Conferência Latino-americana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group (1ª IHPST-LA)*, no prelo.

VIANA, H. E. B.; PORTO, P. A. The Development of Dalton's Atomic Theory as a Case Study in the History of Science: Reflections for Educators in Chemistry. *Science & Education* 19, 75-90, 2010.

VIANA, H. E. B.; PORTO, P. A. O processo de elaboração da teoria atômica de John Dalton. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola* 7, 4-12, 2007.

VIDAL, P. H. O.; CHELONI, F. O.; PORTO, P. A. O Lavoisier que não está presente nos livros didáticos. *Química Nova na Escola* 26, 29-32, 2007.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007. *Ciência e Educação* 18, 291-308, 2012.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. Algumas contribuições do episódio histórico da síntese artificial da ureia para o ensino de química. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces* 4, 13-23, 2011.

WALKER, M.; GRÖGER, M.; SCHLÜTER, K.; MOSLER, B. A bright spark: open teaching of science using Faraday's lectures on candles. *Journal of Chemical Education* 85, 59-62, 2008.

WANDERSEE, J.; GRIFFARD, P. The history of chemistry: potential and actual contributions to chemical education. In: GILBERT, J. K.; DE JONG, O.; JUSTI, R.; TREAGUST, D. F.; VAN DRIEL, J. H. (eds.) *Chemical education: towards research-based practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 2002, p. 29-46.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education. *Physics Education* 14, 108 – 112 (Part I), 239 – 242 (Part II), 1979.

WHITE, A. H. Chemical industry and the curriculum. *Journal of Chemical Education* 8, 2016-2022, 1931.

Why we are trying to make gold. *Scientific American*, Nova York, dezembro 1924, p. 389.

WILLARD, F. W. What industry wants of its chemists. *Journal of Chemical Education* 14, 263, 1937.

WOODWARD, R.B.; DOERING, W.E. The total synthesis of quinine. *Journal of the American Chemical Society* 66, 849, 1944.

WOODWARD, R.B.; DOERING, W.E. The total synthesis of quinine. *Journal of the American Chemical Society* 67, 860-874, 1945.

ZATERKA, L. Alguns aspectos da teoria da matéria: atomismo, corpuscularismo e filosofia mecânica. In: SILVA, C. C. (org.), *Estudos de história e filosofia das ciências – subsídios para aplicações no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 329 – 352.

ZIMAN, J. *An introduction to science studies: The philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

ZUO, J. M.; KIM, M.; O'KEEFFE, M.; SPENCE, J. C. H. Direct observation of d-orbital holes and Cu-Cu bonding in Cu₂O. *Nature* 401, 49-52, 1999.