



# Materiais, equipamentos, métodos e objetivos: outra revolução química?

Juergen HEINRICH MAAR



## RESUMO

Dos diferentes fatores associados a uma mudança de paradigma e, portanto, a uma revolução química, o menos discutido é o que envolve os assim chamados experimentos exemplares, mudanças radicais na metodologia de trabalho e nos procedimentos empíricos da química, mudanças e modificações estas que, no caso de uma ciência natural empírica, podem ter como consequência dados experimentais antes inacessíveis, levando, por fim, a uma nova abordagem de conceitos, hipóteses e teorias e desencadeando uma “revolução” química, um novo paradigma. Muito mais do que uma revolução química, dever-se-ia optar por uma gradativa evolução química. Escolhemos três dessas situações como “exemplares”: a modificação no procedimento empírico da química pneumática, com o uso da cuba pneumática contendo mercúrio; a introdução de novos métodos de extração de compostos orgânicos naturais, com a substituição do método pirogênico pelo de extração com solventes; um novo entendimento de “análise química”, com a substituição da comparação de amostras tidas como autênticas pela decomposição do analito.

PALAVRAS-CHAVE • História da química. Revolução química. Experimentos químicos.  
História da ciência. Kuhn.

Também na ciência nada podemos  
conhecer. Tudo requer ser feito.  
Goethe, 1956, p. 1210.

Para Thomas Kuhn (1922-1996), uma revolução científica (Kuhn, 1975) manifesta-se através de uma *mudança de paradigma*, entendendo-se por paradigma “a idéia de que cada disciplina científica resolve os próprios problemas dentro de uma estrutura pré-estabelecida por pressupostos metodológicos, convenções linguísticas e experimentos exemplares” (Kuhn, 2000, Kuhn, 1975, p. 182-7). A transição para um novo paradigma é, pois, uma revolução científica, que é equivalente a “episódios de desenvolvimento não cumulativo nos quais um paradigma antigo é total ou parcialmente substituído por um novo, incompatível com o anterior” (Kuhn, 1975, p. 125). A imagem habitual que temos do trabalho científico como constituído pela “ampliação contínua

do conhecimento científico” (seja por acúmulo de fatos, seja pelo aumento de sua precisão e exatidão), ou seja, a ciência cumulativa, é o que Kuhn denomina de “ciência normal”, que não se propõe a “descobrir novidades no terreno dos fatos e das teorias” (Kuhn, 1975, p. 87). Descobertas previstas pela teoria fazem parte da ciência normal e não produzem novos tipos de fatos. Já a transição de um paradigma para outro – uma revolução científica – não é um processo cumulativo no velho paradigma, mas uma “reconstrução da área de estudos a partir de novos princípios, alterando algumas generalizações teóricas do velho paradigma, e muitos de seus *métodos* e aplicações” (Kuhn, 1975, p. 116, grifo meu).

Com a menção de métodos que sofrem alterações chegamos propriamente ao nosso objetivo. Até que ponto novos materiais, novos equipamentos e novos métodos levam a uma revolução científica no sentido kuhniano, a uma revolução química no caso? Entretanto, antes de discutirmos o tema proposto, será necessário comentar a existência ou não de uma revolução química (evolução ou revolução?), e definir, tanto no caso de revolução como no de evolução, qual é o problema central para o caso da química.

Tenho para mim que falar de revolução química depende inicialmente de decidir qual é o problema central da química, pois a idéia de revolução pressupõe alguma coisa que se quer revolucionar. Não faria sentido falar de revolução quando a ruptura ocorresse em aspectos ou temas marginais de uma ciência. Então, qual é, afinal, o problema central da química? Por exemplo, a combustão como problema central da química era uma realidade não só para Lavoisier, como para Stahl, defensor, embora não criador, da teoria flogística que Lavoisier queria derrubar. Por que a combustão? Por razões históricas, justamente aquelas que Lavoisier quer excluir de suas considerações, por serem uma “trama de erros e de preconceitos” (Lavoisier, 1937 [1789], p. 31). Para o químico e historiador da química, John Read, a combustão surge como problema fundamental da química por envolver os quatro elementos aristotélicos: “um pedaço de madeira queima: o ar é necessário; o fogo é produzido; a água é um importante produto da combustão; a terra (cinzas) permanece como resíduo” (Read, 1995, p. 4). A isso Read soma a importância vital do fogo, e o fato de ser a combustão a mais espetacular e familiar das reações químicas. Para outros (e incluo-me entre eles) o problema fundamental da química é a estrutura da matéria. A química é a ciência da matéria. “Dêem-me matéria e farei dela um universo”, dissera Kant (*apud* Ginsborg, 2004, p. 41). Portanto, para os autores que pensam desse modo, a revolução química, se existir, organizar-se-á em torno da estrutura da matéria. Nesse caso, se houve de fato uma revolução química, ela será encontrada em Boyle, se quisermos permanecer no campo qualitativo, ou em Dalton, cujo conceito de átomo passou a ser útil quando lhe foi atribuído peso, na forma de um atomismo quantitativo (cf. Bernal, 1969).

O problema da estrutura da matéria como problema central da química encontra resistência entre os empiristas. Em Lavoisier, por exemplo, não se deve “concluir nada para além do que as experiências apresentam”, o que não lhe permitiu incluir em seu tratado “a parte da química mais suscetível, talvez, de tornar-se um dia uma ciência exata” (Lavoisier, 1937 [1789], p. 13), referindo-se à ideia de “afinidades eletivas”. Ele exclui igualmente de suas considerações o átomo/elemento, pois “*tudo o que se pode dizer sobre o número e a natureza dos elementos limita-se, na minha opinião, a discussões puramente metafísicas*” (Lavoisier, 1937 [1789], p. 17, grifo meu). Realmente o atomismo não pode cativar um empirista puro – e Lavoisier pode ser tido como empirista, porque não vê outra forma de obter conhecimento que não seja por experimento e observação –, pois no atomismo estão envolvidas questões epistemológicas e ontológicas que ultrapassam o empírico, mas que não cabe aqui discutir. Cabe, entretanto, dizer que se o próprio Lavoisier admite excluir de sua teoria aspectos que tornarão provavelmente a química uma ciência exata, até que ponto ele é revolucionário? Se ele está convicto de que vai revolucionar a química (em torno do problema da combustão, ou do das propriedades dos gases), então o mito de Lavoisier como revolucionário é uma criação da historiografia hagiográfica do século XIX, produzida por motivos nem sempre científicos. Se Lavoisier (1805, p. 87) refere-se à revolução química como sendo dele (“*c’est la mienne!*”), seu colaborador Fourcroy já não concorda com isso, considerando-a criação coletiva (Fourcroy, *apud* Jensen, 1998, p. 961). Enquanto Liebig, discípulo de Gay-Lussac e defensor da “química dos franceses”, diria em seus escritos autobiográficos que Lavoisier “guilhotinou” as contribuições de Black, Cavendish, Priestley, Bergman, Scheele (cf. Liebig, 1890, p. 824). E Allen Debus, em um gesto quase herético, faz retroceder a revolução científica (e implicitamente a revolução química) ao século XVI, a Paracelso (cf. Debus, 2002 [1997]). Isso faz sentido, pois além de priorizar o fato empírico contra a autoridade dos antigos, Paracelso estabeleceu o que Eric John Holmyard chamou de “lei básica da química”: todos os espécimes de uma dada espécie química são idênticos (Holmyard, 1990, p. 176). Óbvio para nós, mas na época de Paracelso constituía uma constatação que permitiu o estudo de fenômenos químicos como sendo científicos (“intersubjetivamente verificáveis” diriam depois os adeptos e sucessores de Auguste Comte).

Finalmente, seja dito que, na historiografia da química, existem historiadores que consideram não uma, mas várias “revoluções”, como William Jensen, para quem há três “revoluções químicas”, nos períodos 1770/1790, 1855/1875 e 1904/1924, cada uma correspondendo a um “nível conceitual” – molar, molecular, eletrônico –, sem fazer uso da ideia de mudança de paradigma de Kuhn (cf. Jensen, 1998, p. 963-4).

O objetivo mais imediato deste artigo é discutir a existência ou não, no sentido kuhniano, de uma mudança de paradigma e, em consequência, de uma revolução cien-

tífica, baseada em pressupostos metodológicos e/ou experimentos exemplares, em algumas situações da história da química. Cada uma dessas situações caracterizaria uma revolução química diferente. Essas revoluções, embora nos pareçam evidentes, talvez encontrem entre os historiadores barreiras criadas e definidas pelo peso da tradição, representada, no caso, pela autoridade de Lavoisier, suposto criador, sozinho ou com sua equipe, de uma nova química. Mesmo na visão daqueles que consideram a química antiflogística de Lavoisier como uma nova química, ou até como marco inicial da própria química, é central nessa “revolução” o papel da química pneumática, o estudo dos gases por químicos como Black, Cavendish, Priestley, Sheele e outros, um ponto de vista que não era novo.

Os gases, já usados pelos alquimistas alexandrinos como reagentes no aparelho que chamavam de *kerotakis*, só voltaram regularmente à química no século xvii, inicialmente como produto de reações, com Jan Baptista van Helmont e seu “gás silvestre”.<sup>1</sup> Todos os tipos de “ares” eram tidos como variantes de um mesmo “ar”, e só quando Joseph Priestley passou a recolher os “ares” em uma cuba pneumática, contendo mercúrio em vez de água, foi possível diferenciar qualitativamente os diferentes “ares” ou gases e tivemos o explosivo crescimento da pneumoquímica. Priestley, Scheele, Cavendish e Volta preocuparam-se com os gases que compunham o ar atmosférico e a água (oxigênio, hidrogênio, nitrogênio). Cavendish percebeu que a água era composta por hidrogênio e oxigênio em combinação, o ar por oxigênio e nitrogênio em mistura, conclusão a que também chegou Scheele. Priestley construiu um eudiômetro para medir a pureza ou “qualidade” (“*goodness*”) do ar, e Volta um eudiômetro para estudar a composição dos gases liberados na combustão (explodindo gases combustíveis como metano e eteno com oxigênio). Gay-Lussac elaborou testes para verificar a pureza do ar. A pneumoquímica foi muito importante para o estabelecimento da química moderna. Os historiadores são praticamente unânimes em dizer que o estudo qualitativo e quantitativo dos gases (entre eles o oxigênio como peça-chave) conduziu à moderna química antiflogística, ou, em outras palavras, sem o estudo dos gases não teria sido possível a “teoria do oxigênio” de Lavoisier e seus colaboradores.

Ora, o estudo qualitativo e quantitativo de gases só se tornou possível graças a uma modificação no procedimento empírico, que consistiu na substituição da água da “cuba pneumática” de Stephen Hales por mercúrio, permitindo, assim, uma autêntica (para quem aceita a ideia) revolução química, uma revolução que não é provocada por novas teorias ou metodologias, nem por convenções linguísticas, mas pelo que Thomas Kuhn considera como “experimentos exemplares” (Kuhn, 1975, p. 182-7). Esse novo

<sup>1</sup> O gás silvestre de Helmont (cf. Partington, 1957, p. 50) é essencialmente o nosso gás carbônico, ou o ar fixo de Black (cf. Partington, p. 96-8).

procedimento empírico permitiu um enorme avanço dos conhecimentos sobre os gases. Sabemos hoje que Stephen Hales recolheu diversos gases em sua cuba pneumática, mas todos se dissolviam na água da cuba, não permitindo que se caracterizassem os diversos “ares”. Quando Joseph Priestley substituiu a água da cuba por mercúrio, conseguiu separar e caracterizar os “ares” que descobriu, dez ao todo, incluindo uma descoberta independente do oxigênio em 1774. Ora, o conhecimento das propriedades qualitativas e quantitativas de gases, tais como o oxigênio, o nitrogênio, o gás carbônico e o vapor de água, era necessário para a formulação da “teoria do oxigênio”, sem importar agora se de Lavoisier ou se de sua equipe. O que importa é que se considere tal revolução (ou evolução ou reformulação) como consequência da introdução de um novo procedimento experimental, ainda que esse novo procedimento tenha sido introduzido não para criar as condições para uma “revolução química”, mas singela e prosaicamente para poder estudar as propriedades dos diferentes “ares”.

Escolhi inicialmente esse exemplo porque a ideia de associar a revolução química ao trabalho teórico e sistematizador de Lavoisier (já que não mais se acredita na descoberta do oxigênio por Lavoisier, nem em sua formulação de uma lei de conservação da massa) é usualmente aceita como uma revolução química, caracterizada pela mudança de metodologia e de base teórica. Quero defender a ideia de que essa mudança metodológica e a nova concepção teórica de Lavoisier não são uma nova química *ex nihilo*, mas uma nova interpretação (revolução, se quisermos) tornada possível por causa da introdução de novos procedimentos empíricos. Em outras palavras, no sentido kuhniano, houve uma mudança de paradigma provocada não por mudanças metodológicas, mas por mudanças empíricas ou por experimentos exemplares, segundo a posição de Kuhn (1975, p. 182-7). Entender o novo modelo químico teórico de Lavoisier como consequência última e inevitável de um conjunto de experimentos muito rigorosos e exatos realizados anteriormente, no caso, os experimentos qualitativos e quantitativos sobre gases efetuados por Henry Cavendish, no período entre 1781 e 1784 é compartilhado por diversos historiadores da química. Por exemplo, em artigo recente, Seitz afirma categoricamente que a reputação de Lavoisier como “pai” da química moderna depende acentadamente dos experimentos pneumoquímicos de Cavendish, chegando a apelidar Cavendish de “catalisador da revolução química” (cf. Seitz, 2004).

Um segundo exemplo a ser citado refere-se à mudança radical no procedimento de extração de substâncias orgânicas das plantas que as contêm. Essa extração era feita inicialmente por destilação a seco, ou pirólise, “análise pelo fogo”, na tradição alquimista (cf. Holmes, 1971, p. 131). Como a maior parte das substâncias orgânicas decompõe-se em temperaturas superiores a 300°C, a destilação seca de qualquer planta fornece praticamente os mesmos produtos, não produtos constituintes da planta, mas produtos provenientes da decomposição térmica desses constituintes. O uso do fogo

pelos primeiros “químicos orgânicos”, seja na destilação direta, seja na destilação de extratos e soluções, não encontra explicação apenas no aspecto prático desse procedimento, mas tem um componente filosófico derivado do sistema natural aristotélico. O fogo é um agente criador, destruidor e transformador das substâncias naturais, sem falar do fogo como “agente de purificação”. O interesse principal dos quimiatras que faziam uso da pirólise não era o de saber se os componentes das plantas eram o mesmo antes e depois da ação do fogo, mas muito mais saber se o destilado mantinha as propriedades medicinais da própria planta, como o deixou claro Nicolas Le Fevre. Claude Bourdelin realizou para a Academia de Paris mais de 2.000 análises pelo método pirogênico, concluindo que praticamente todas as plantas fornecem pelo método pirogênico destilados de mesma composição (cf. Holmes, 1971). Muitos historiadores concluem que todo esse trabalho era inútil, pois não só não fornecia dados confiáveis sobre a composição das plantas, mas não permitia estabelecer qualquer relação entre as plantas e a composição do destilado. James R. Partington, no seu estilo pragmático, dizia que as “1.400 destilações realizadas levaram a destilados de mesma composição” (Partington, 1957 [1937]; 1962, p. 12). Por volta de 1700, uma nova geração de acadêmicos analisou os dados pouco conclusivos de Bourdelin, e Guillaume (Wilhelm) Homberg propôs algumas modificações no procedimento. Depois de algumas tentativas de obter substâncias por pirólise (as “substâncias empireumáticas” como o pirogalol de Scheele, o pirocatecol, o ácido piromúxico e outros), chegou-se à conclusão de que o método pirogênico não conduz a resultados satisfatórios, o que ficou expresso principalmente no trabalho de 1719 de Louis Lémery. Finalmente, Simon Boulduc comparou o método pirogênico tradicional com a extração com solventes, constatando a grande vantagem do segundo, empregando-se solventes como água, álcool e éter. Assim, a revolução na química orgânica decorre de uma mudança radical nos procedimentos de obtenção dos compostos orgânicos (e na época, compostos orgânicos eram os compostos associados ao mundo vegetal e animal). Às ideias de Holmes (1971), aqui comentadas, acrescento ainda que uma nova “revolução” ocorreu na química orgânica quando se percebeu que os compostos orgânicos não são obrigatoriamente compostos extraídos de plantas ou animais, mas que podem ser sintetizados em laboratório e, ainda mais, que podem ser obtidos em laboratório compostos orgânicos inexistentes na natureza, mas cujas propriedades gerais são idênticas às dos compostos obtidos de fontes naturais, constatação que envolve consequências filosóficas a meu ver ainda não suficientemente analisadas, por exemplo, no sentido bachelardiano de que a ciência constrói os objetos que estuda (cf. Bachelard, 1996). O químico orgânico realmente “constrói” objetos que a natureza não lhe fornece,<sup>2</sup> mas que não diferem essencial-

<sup>2</sup> O químico orgânico sintetiza em laboratório substâncias inexistentes na natureza, como o formaldeído ou o clorofórmio.

mente daqueles que existem na natureza. Também na visão goetheana de ciência, o químico constrói novos corpos, mas, ao mesmo tempo em que estuda esse mundo construído, obriga-se a investigar a origem das coisas, o mundo real e simultaneamente o mundo construído que passa a ser real (cf. Maar, 2006, p. 111). Mas a análise desses aspectos, citados apenas para mostrar a complexidade subjacente à interpretação de uma revolução científica, certamente foge ao nosso objetivo.

Finalmente, um terceiro exemplo é oferecido pela química analítica, um ramo da química que até pouco tempo era tido como relativamente estéril no que se refere a considerações filosóficas e vôos teóricos mais ousados. Mas a história da química analítica mostra que não é assim. Observa-se uma lenta transformação da análise química dos ensaiadores e metalurgistas dos séculos xv e xvi em química analítica como ramo da química moderna – uma transição da arte para a ciência. Nessa transição, observa-se uma inflexão, uma espécie de “revolução científica”, baseada exclusivamente em aspectos empíricos – experimentos exemplares – ocorridos na transição de uma técnica e arte (análise química) para uma ciência (química analítica). Em meados do século xviii, o próprio entendimento do que seria analisar do ponto de vista químico modificou-se (cf. Szabadváry, 1965, p. 71). Até aproximadamente 1750, analisar era comparar uma amostra em estudo com uma amostra tida como autêntica; depois daquela data, analisar passou a ser literalmente decompor, ou seja, decompor a amostra em estudo nos seus diferentes constituintes, até que esses constituintes não sejam mais decomponíveis. A essa transição “revolucionária” correspondem consequências empíricas, e também teóricas. Quanto às consequências empíricas, simplesmente comparar amostras não permite, por exemplo, chegar a novos elementos, pois não se penetra na constituição ou estrutura do analito. Esse obstáculo, somado à prática de corrigir os dados da análise de modo que a soma forneça 100%, leva a conclusões equivocadas. Torbern Bergman não descobriu o zircônio porque corrigiu os resultados da análise do mineral zirconita em vez de considerar a diferença para os 100% como um possível corpo simples ainda desconhecido. Por outro lado, Clemens Alexander Winkler descobriu o germânio (1886), porque considerou os 6% que faltavam para completar 100% no mineral argirodita como correspondendo a um novo elemento (cf. Kober, 1987). As consequências teóricas são mais importantes do que normalmente se crê, embora os historiadores da química, via de regra, considerem a química analítica como um ramo menos nobre da ciência que estudam, menos propício a vôos filosóficos mais ousados. Georg Ernst Stahl e os flogistonistas em geral consideravam a existência de princípios últimos físicos e químicos. Os princípios últimos físicos (leia-se elementos) eram definidos *a priori* e eram os constituintes últimos com os quais se construíam todas as espécies de matéria; por outro lado, os constituintes últimos químicos são definidos *a posteriori* e são os resultados reais das análises químicas a que

foram submetidas as diferentes espécies de matéria. Stahl ousou uma hipótese que deve ser entendida como sendo tão ou mais revolucionária do que a própria revolução lavoisieriana, embora quase nunca seja assim entendida. No instante em que os químicos conseguirem fazer com que os princípios últimos físicos sejam também os princípios químicos últimos, teremos chegado ao pleno entendimento da estrutura das diversas espécies de matéria. Lavoisier, embora a estrutura da matéria tivesse para ele um aspecto marginal, confirmou a hipótese. Os elementos *a priori* de Boyle encontram expressão, *mutatis mutandis*, nos elementos *a posteriori* de Lavoisier (cf. Oldroyd, 1976). Provavelmente o autoproclamado revolucionário Lavoisier nunca tenha percebido que concedeu a seu opositor Stahl certo *status* de revolucionário a sua maneira.

Creio que apresentados esses exemplos de experimentos exemplares não será mais necessário discutir a procedência ou não dos argumentos de Thomas Kuhn ao propor as revoluções ou novos paradigmas na evolução da ciência, no caso, da química. Não quero com isso dizer que a contribuição de Kuhn seja irrelevante. Pelo contrário, até mesmo aqueles que não acreditam em revoluções químicas, mas preferem uma evolução – entre os quais me incluo – ou aqueles que aceitam a revolução química, mas querem vê-la não em Lavoisier, mas em outro episódio que lhes parece mais significativo, encontrarão em Kuhn, e na reflexão sobre seus pontos de vista, uma fonte aparentemente inexaurível de pontos de partida para reflexões epistemológicas ou ontológicas antes insuspeitadas.

É claro que os experimentos exemplares são executados em um espaço físico apropriado, que permite uma execução rigorosa, de acordo com uma metodologia ao menos implícita – como o era a dos ensaiadores e quimiatras paracelsianos – e de acordo com instruções que permitam sua repetição. Os quimiatras, iatroquímicos e químicos explicitam o que os alquimistas escondiam sob uma roupagem alegórica e (não tão) hermética. Tal espaço é o laboratório, configurado como um novo espaço acadêmico.

Christoph Meinel, ao historiar a institucionalização da química como atividade universitária independente, desligada da medicina e da farmácia, às quais estava vinculada nos séculos XVI e XVII, bem como desligada da cameralística e de outras áreas aplicadas, às quais se vinculava no século XVIII, salienta o simultâneo surgimento do laboratório como um novo espaço para a atividade acadêmica (cf. Meinel, 1988), ainda que, de início, um laboratório de demonstração e não de pesquisa. É verdade que o laboratório como espaço de trabalho existia antes – o laboratório do alquimista, do quimiatra, do ensaiador e do analista metalúrgico –, mas tratava-se de um laboratório com características diversas daquele de cunho acadêmico.

Esse novo espaço acadêmico não foi de início bem recebido pela academia. Ainda no século XIX em muitas universidades tentou-se banir a química experimental da universidade ou, pelo menos, das faculdades de filosofia, nas quais desde o final do

século XVIII passou a ser alocada a química. No lugar da elegância literária e de belas bibliotecas, a atividade acadêmica no laboratório oferecia a fuligem, a poeira e o mau cheiro dos destiladores, fornos e outros equipamentos (cf. Meinel, 1988). Otto Bernhard Kühn assumiu em 1830 a cadeira de química na Faculdade de Medicina da Universidade de Leipzig, escrevendo que “o laboratório e as demonstrações públicas encontraram resistências no seio da universidade”, pois, no protesto do teólogo Olearius, eles envolviam “*arsenicalia* (...) e também *antimonialia* e *spiritus urinosi* e seu pavoroso cheiro” (cf. Alma, 1984).

É claro que esse novo ambiente acadêmico foi aos poucos melhorado em termos não só de eficácia e praticidade, mas no seu próprio aspecto e ambiente como local de criação de conhecimento. O velho, e durante séculos, invariável laboratório dos alquimistas, organizado em torno de uma multiplicidade de fornos, como o vemos nas gravuras de Pieter Bruegel, o Velho, e de Hans Weiditz, converteu-se no ambiente racionalmente organizado, proposto por Andreas Libavius (1550-1616) em seu livro-texto *Alquimia* de 1597, mas só tardiamente concretizado em 1683 na Universidade de Altdorf, pelo quimiatra Johann Moritz Hofmann. O laboratório como pano de fundo obrigatório para essa outra revolução química sofre profundas modificações à medida que a química evolui e modifica sua prática. O laboratório como novo espaço acadêmico, como novo espaço de criação de conhecimento é objeto de muitos estudos, estudos aos quais o autor do presente trabalho também pretende dedicar-se. ☉

*Juergen* HEINRICH MAAR

Professor aposentado do Instituto de Química,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

*jhmaar@yahoo.com.br*

#### ABSTRACT

Amongst the different factors associated with a paradigm shift, and hence with a chemical revolution, the least discussed is that involving the so-called exemplary experiments: radical changes in chemistry's methodology and empirical procedures. In the case of natural and empirical sciences such changes may lead to obtaining previously inaccessible experimental data, and ultimately to a new approach to concepts, theories and hypotheses, that becomes the triggering factor for a chemical “revolution”, a new paradigm. Much more than a chemical revolution, we should consider a gradual chemical evolution. We chose three situations as “exemplary”: the change of empirical procedures in pneumatic chemistry with the use of the pneumatic trough containing mercury; the introduction of solvent extraction in substitution to the pyrogenic method for the extraction of natural organic compounds; a new understanding of “chemical analysis” associated with the substitution of sample comparison by analytic decomposition.

KEYWORDS • History of chemistry. Chemical revolution. Chemical experiments. Kuhn.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMA Mater Lipsiensis. Leipzig: Edition, 1984. Disponível em: <[http://www.uni-leipzig.de/chemie/ch\\_hist.htm](http://www.uni-leipzig.de/chemie/ch_hist.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2000.
- BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BERNAL, J. D. *Ciência na história*. Lisboa: Livros Horizonte, 1969.
- DEBUS, A. *The chemical philosophy*. New York: Dover, 2002 [1997].
- GINSBORG, H. Two kinds of mechanical inexplicability in Kant and Aristotle. *Journal for the History of Philosophy*, 42, p. 33-65, 2004.
- GOETHE, J. W. VON. Maximen und reflexionen. In: STAPF, P. (Ed.). *Goethes werke*. Berlin/Darmstadt: Deutsche Buchgemeinschaft, 1956. v. 1.
- HOLMES, F. Analysis by fire and solvent extraction: metamorphosis of a tradition. *Isis*, 62, p. 129-48, 1971.
- HOLMYARD, E. *Alchemy*. New York: Dover, 1990.
- JENSEN, W. Logic, history and the chemistry textbook III. One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75, p. 961-9, 1998.
- KOBER, F. Die Entdeckung des Elementes Germanium. *Chemiker-Zeitung*, 111, p. 78-81, 1987.
- Kuhn, T., *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva, 1975.
- \_\_\_\_\_. *The road since structure*. Chicago: University of Chicago Press, 2000.
- LAVOISIER, A. L. *Traité élémentaire de chimie*. Paris: Gauthier-Villars, 1937 [1789].
- \_\_\_\_\_. *Mémoires the chimie*. Paris: s.n., 1805. v. 2.
- LIEBIG, G. Liebig's eigenhändige biographische Aufzeichnungen. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 23, p. 785-816, 1890.
- MAAR, J. H. Goethe e a história da ciência. *Episteme*, 11, p. 95-116, 2006.
- MEINEL, C. Chemistry's place in eighteenth and nineteenth century. *History of Universities*, 8, p. 89-115, 1988.
- OLDROYD, D. An examination of Stahl's philosophical principles of universal chemistry. *Ambix*, 20, p. 36-52, 1976.
- PARTINGTON, J. R. *A short history of chemistry*. New York: Dover, 1957 [1937].
- \_\_\_\_\_. *A history of chemistry*. London: Macmillan, 1962. v. 3.
- READ, J. *From alchemy to chemistry*. New York: Dover, 1995.
- SEITZ, F. Henry Cavendish: the catalyst for the chemical revolution. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 148, p. 151-79, 2004.
- SZABADVÁRY, G. *History of analytical chemistry*. London: Pergamon, 1965.

