

Como a Química

Funciona?

Reflexões Epistemológicas e a Determinação de Fórmulas e Pesos Atômicos a partir das Leis Ponderais e da Teoria Atômica de Dalton

Murilo Cruz Leal

O presente artigo tem sua origem no contexto de aulas de Química Geral desenvolvidas no ensino superior sobre a estrutura atômica da matéria. Alerta para a necessidade de reflexões e abordagens de cunho epistemológico, nos diversos níveis do ensino, que considerem aspectos históricos do desenvolvimento da química como uma forma organizada de saber, como um sistema teórico-conceitual que permite representar e explicar o comportamento do mundo material. Suscita reflexões sobre as formas como se trabalha com teorias, princípios, hipóteses, modelos, leis, regras, conceitos, resultados experimentais ou unidades arbitrárias em aulas de química.

► epistemologia e história da química; leis e relações ponderais na química; teorias, leis e resultados experimentais no ensino de química ◀

8

Recebido em 29/2/00, aceito em 19/12/00

Introdução

As idéias apresentadas neste trabalho foram organizadas durante as aulas que trataram do tópico 'estrutura atômica' no curso de Engenharia Mecânica da Funrei (Fundação de Ensino Superior de São João del-Rei), no início do primeiro semestre letivo de 1998, na disciplina Química Geral. Na ocasião, realizamos um estudo das relações entre as leis de Lavoisier, Proust e Dalton com a teoria atômica de Dalton, com o objetivo de evidenciar o papel de suporte empírico (experimental) da teoria de Dalton desempenhado pelas leis ponderais e, no sentido contrário, a teoria fornecendo explicação para as generalidades indicadas nas três leis. Na seqüência, as conclusões e "ferramentas interpretadoras" geradas a partir da teoria atômica de Dalton são associadas à proposição de fórmulas químicas, ao uso de uni-

dades arbitrárias e à determinação de pesos atômicos (massas atômicas relativas), conforme ocorreu ao longo da primeira metade do século XIX. Além da teoria de Dalton e das leis ponderais, este estudo envolve também a regra da máxima simplicidade de Dalton, a lei volumétrica das combinações químicas de Gay-Lussac e a hipótese de Avogadro.

Usa-se todo o tempo tratando de temas químicos. Nunca toma-se a química (sua estruturação e seu funcionamento) como tema de estudo

O que se quer dizer com "funcionamento da química"?

Quando me refiro ao funcionamento da química, estou pensando em suas teorias, modelos, conceitos, leis, resultados experimentais e unidades arbitrárias, no que essas entidades significam e em quais são as relações existentes entre elas. Recentemente, encontrei a seguinte seqüência em um

livro didático dirigido ao ensino médio:

Fazendo um raciocínio semelhante a esse, William Kossel e Gilbert Newton Lewis propuseram, independentemente, no ano de 1916, uma teoria para explicar a ligação entre os átomos, que ficou conhecida como modelo de octeto de elétrons ou, simplesmente, regra do octeto (Peruzzo e Canto, 1999, p. 43).

É surpreendente, na citação acima, como em um único parágrafo aparecem três referências diferentes à regra do octeto: teoria do octeto, modelo do octeto e regra do octeto. Teoria, modelo e regra são a mesma coisa? Nenhuma discussão sobre isto é apresentada pelos autores.

Muitas vezes, quando estamos ensinando química, utilizamos todos esses conceitos (teoria, modelo, lei etc.), mas eles não são discutidos. Ficamos todo o tempo tratando de temas químicos, mas nunca tomamos a química (sua estruturação e seu funcionamento) como tema de estudo. Neste trabalho, utilizo o processo de desenvolvimento da química ocorrido entre o final do século XVIII e meados do sé-

Na seção "Relatos de sala de aula" são socializadas experiências desenvolvidas por professores de química na perspectiva de se ampliar as reflexões sobre as práticas de sala de aula, de reconstruí-las e de melhorá-las sistematicamente.

culo XIX para discutir o modo como a ciência química funciona.

Esse tipo de temática é tratado de forma privilegiada pelo campo de estudos denominado epistemologia. Tal campo de estudos vem conquistando, nos últimos anos, uma posição importante no universo das iniciativas e reflexões voltadas para o aperfeiçoamento da educação científica escolar.

Uma ressalva fundamental: sobre as origens da teoria atômica de Dalton

Embora a teoria atômica de Dalton tenha surgido em um momento histórico no qual era muito grande o volume de informações sobre as quantidades de substâncias envolvidas em reações químicas, a atenção de Dalton estava voltada para outra direção. De acordo com Ferreira (1987), o seu interesse original e permanente foi a meteorologia: ele estava preocupado com a solubilidade dos gases na água, com a expansão do vapor em função do calor e com o vapor d'água presente na atmosfera. Conforme uma análise de manuscritos de Dalton, realizada por Henry Roscoe e Arthur Harden e publicada em 1896, a teoria atômica de Dalton foi intuída por ele a partir de seus estudos das diferentes solubilidades dos gases na água. Desde 1803, Dalton considerava a natureza atômica da matéria. Após uma repercussão muito favorável de conferências realizadas em 1807, Dalton publicou, no ano seguinte, *A new system of chemical philosophy* (Um novo sistema de filosofia química). Os postulados da teoria atômica de Dalton apresentados nesse livro permitiram a compreensão racional dos resultados conhecidos sobre as transformações e a constituição das substâncias (organizados nas leis ponderais). Além disso, a adoção da teoria de Dalton permitiu um grande avanço na compreensão de fórmulas químicas e pesos atômicos, conforme tratado neste artigo.

Embora a teoria atômica de Dalton tenha surgido em um momento histórico no qual era muito grande o volume de informações sobre as quantidades de substâncias envolvidas em reações químicas, a atenção de Dalton estava voltada para outra direção

As leis ponderais (ou leis das combinações químicas) e a teoria atômica de Dalton

Apresento, primeiramente, versões simples dos enunciados, retiradas de livros-texto comuns entre nós. Em seguida, os materiais apresentados são discutidos e utilizados para a elaboração de novos conhecimentos. Essa estrutura será utilizada ao longo de todo este trabalho.

Lei da conservação da massa (Lavoisier - 1789)

Numa reação química, a soma das massas dos reagentes é sempre igual à soma das massas dos produtos da reação (Feltre, 1997, p. 292).

Lei das proporções definidas (Proust - 1799)

Uma determinada substância, qualquer que seja sua origem, é sempre formada pelos mesmos elementos químicos, combinados na mesma proporção em massa (Feltre, 1997, p. 292).

Lei das proporções múltiplas (Dalton - 1808)

Quando dois elementos químicos formam vários compostos, fixando-se a massa de um dos elementos, as massas do outro elemento variam numa proporção de números inteiros e, em geral, pequenos (Feltre, 1997, p. 295).

Teoria atômica de Dalton (1803)

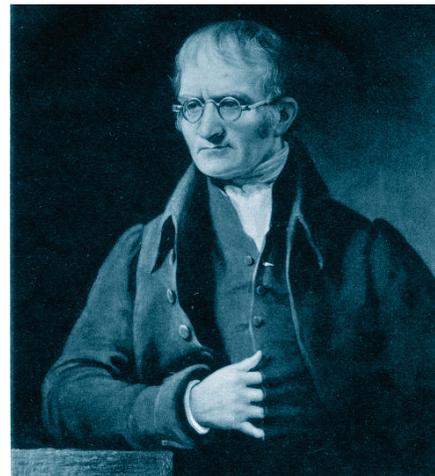
1- A matéria é constituída de partículas indivisíveis chamadas átomos.

2- Todos os átomos de um mesmo elemento têm as mesmas propriedades (...) as quais diferem das propriedades de todos os outros elementos.

3- Uma reação química consiste (...) num rearranjo dos átomos de um conjunto de combinações para outro (Brady e Humiston, 1986, p. 21).

Regra da máxima simplicidade de Dalton

Dalton considerou que as moléculas são tão simples que combinações atômicas obedecendo a razão de 1



John Dalton (1766-1844)

para 1 sempre deveriam existir (Mahan e Myers, 1993, p. 3).

Discussão 1: definição e relação entre leis e teorias

Como podemos verificar a partir das três leis ponderais enunciadas acima, lei é uma generalização, uma afirmação válida para qualquer caso que se enquadre em sua estrutura. As leis ponderais não se referem a reações químicas específicas, mas a quaisquer reações que se encaixem em seus enunciados (a lei de Lavoisier, por exemplo, se refere a toda e qualquer reação química). Dito o que é uma lei, é importante também dizer o que ela não é: uma explicação. A lei de Lavoisier afirma a conservação da massa mas não a explica. Da mesma forma, a lei de Proust não explica porque as proporções são sempre as mesmas, só afirma que são. As leis são afirmações gerais geradas a partir de coleções de resultados experimentais (empíricos).

São nas teorias que estão as explicações. As teorias são conjecturas racionais, elaboradas para descrever e explicar, no caso da química, a estrutura e o comportamento das substâncias e dos materiais.

As leis e as teorias guardam uma relação muito importante. As teorias devem ser capazes de explicar o que as leis afirmam. Dito de outro modo, as teorias têm que estar de acordo com as evidências experimentais disponíveis (que são os temas organizados na forma de leis).

Discussão 2:**a lei das proporções múltiplas permite a predição das fórmulas de compostos formados pelos mesmos elementos****Resultados experimentais**

a) 1,00 g de C combina-se com 1,33 g de O formando 2,33 g de produto.

b) 1,00 g de C combina-se com 2,66 g de O formando 3,66 g de produto.

Levando em consideração a lei de Proust, podemos concluir que as reações descritas em *a* e *b* levam à formação de dois produtos diferentes, mesmo que formados pelos mesmos elementos químicos, C e O. Mas, como isso é possível?

Como sabemos, não é só a natureza (qualidade) dos elementos químicos presentes em uma fórmula que define a substância que está sendo representada. Conta também a quantidade em que cada elemento químico participa da fórmula. Por essa razão, metano e etano são substâncias diferentes, mesmo que igualmente formadas por C e H. O mesmo é válido para H_2O e H_2O_2 e CO e CO_2 .

Voltemos à análise dos dados de *a* e *b*. Pelas informações apresentadas, e pensando de acordo com a visão que Dalton tinha de reação, concluímos, como já foi dito, que nos dois casos os produtos são compostos por C e O. A quantidade de C envolvida nas duas reações é a mesma. No entanto, a quantidade de O em *b* é o dobro da quantidade em *a*. O que poderemos concluir com Proust e com Dalton? Resposta: *A fórmula do produto formado em a é CO e, em b, CO₂.*

É uma coisa realmente impressionante. Combinando um tanto de resultados de laboratório com uma boa dose de especulação, é possível chegar a conclusões bastante sofisticadas!

Questões sugeridas para os alunos

1) 2,00 g de C combinam-se com 2,66 g de O formando 4,66 g de produto. Nesse caso, o produto formado é o mesmo de *a* ou de *b*?

2) Quanto de O vai combinar-se com 2,50 g de C para formar dióxido de carbono?

3) Se representamos os átomos por bolinhas (elementos químicos diferentes, bolinhas diferentes), como poderíamos representar as reações relacionadas em *a* e em *b*?

Discussão 3:**a partir da definição arbitrária de um padrão, os pesos atômicos ou massas atômicas relativas começaram a ser determinados****Resultado experimental**

c) 8,0 g de O combinam-se com 1,0 g de H para formar água.

Com os valores numéricos apresentados acima (*a*, *b* e *c*), mais as fórmulas das substâncias formadas, pode-se definir valores relativos de massas atômicas (pesos atômicos) para os elementos químicos envolvidos. É o que faremos agora.

Tomemos o CO (*a*). Na sua formação temos um átomo de C combinado com um átomo de O. Logo, os valores das massas envolvidas na sua formação podem ser tomados como as massas relativas (MA_r) desses dois elementos. Para ficar mais elegante, vamos multiplicar os valores dessas massas atômicas relativas por 3 para transformarmos 1,33 em um número inteiro.

$MA_r(O) = 1,33 \times 3 = 4,0$ (valor aceito hoje: 16,0)

$MA_r(C) = 1,00 \times 3 = 3,0$ (valor aceito hoje: 12,0)

Como se pode ver, os valores assim obtidos são diferentes, porém proporcionais aos valores que utilizamos atualmente.

Tomando o oxigênio como padrão e usando $MA_r(O) = 4,0$, utilizando os valores apresentados em *c* e considerando que a fórmula da água é HO (de acordo com a regra da máxima simplicidade de Dalton), obtemos o peso atômico para o hidrogênio:

8,0 g de O para 1,0 g de H
ou seja,

4,0 g de O para 0,50 g de H.
Portanto, $MA_r(H) = 0,50$.

Multiplicando esses valores por 2, de modo que $MA_r(H)$ passe a ser igual a 1,0, obtemos:

$MA_r(H) = 0,50 \times 2 = 1,0$

$MA_r(O) = 4,0 \times 2 = 8,0$



Amedeo Avogadro (1776 - 1856)

$$MA_r(C) = 3,0 \times 2 = 6,0$$

Questão sugerida para os alunos

4) Na lista acima, a massa atômica relativa igual a 1,0 para o H está correta (de acordo com nossas convicções atuais). No entanto, os valores relacionados ao C e ao O estão incorretos (correspondem à metade dos valores aceitos atualmente). Tente encontrar a fonte desse problema nas operações e considerações realizadas até este momento.

Lei volumétrica das combinações químicas (Gay-Lussac - 1808)

Numa reação química, os volumes gasosos, medidos nas mesmas condições de T e P, estão numa proporção de números inteiros e pequenos. (Netto, 1989, p. 89)

Resultado experimental

d) 2 volumes de H combinam-se com 1 volume de O formando 2 volumes de água.

Hipótese de Avogadro (1811)

Sob as mesmas condições de T e P, volumes iguais de quaisquer gases (substâncias simples, compostas ou misturas) contêm o mesmo número de partículas (traduzido de Hernández et al., 1997, p. 176).

Observação: Para justificar resultados experimentais, Avogadro admitiu que moléculas de certos elementos seriam formadas por dois átomos (o que não era aceito por Dalton).

A oposição de Dalton aos resultados e às idéias apresentadas por Gay-Lussac e Avogadro

De acordo com Mahan e Myers (1993), Dalton obteve as fórmulas corretas para CO, CO₂, NO e NO₂, mas insistia que a fórmula da água deveria ser HO e não H₂O (como se pode concluir a partir da lei de Gay-Lussac e da hipótese de Avogadro, conforme exposto na Discussão 4). Como a lei volumétrica de Gay-Lussac tinha base experimental, o único argumento que Dalton podia usar para refutá-la é que Gay-Lussac tinha se equivocado em suas medições (Hernández *et al.*, 1997).

De acordo com Hernández *et al.* (1997), Dalton rejeitava a idéia de que amostras gasosas com o mesmo número de átomos de diferentes elementos ocupam volumes iguais. Segundo Hernández *et al.* (1997), o modelo que Dalton tinha dos gases considera que eles são formados por átomos estáticos em contato uns com os outros. Como a dimensão dos átomos de elementos diferentes deveria ser distinta, o mesmo número de átomos diferentes não poderia ocupar o mesmo volume.

A rejeição da hipótese de Avogadro vigorou entre a maioria dos químicos durante quase cinquenta anos e fez com que houvesse confusão sobre valores de massas atômicas e moleculares durante todo esse tempo (Mahan e Myers, 1993).



Joseph Louis Gay-Lussac (1778 - 1850)



Figura 1: Representação da reação de formação da amônia.

Em 1860, o primeiro Congresso Internacional de Química tinha como objetivo encontrar uma concordância para o problema dos pesos atômicos. Uma grande quantidade de dados experimentais precisos havia sido obtida desde a época de Dalton, e era necessário encontrar uma solução para o problema dos pesos atômicos. Neste encontro, estava presente Stanislao Cannizzaro - de origem italiana como Avogadro - que falou em favor da hipótese deste último [...] (Mahan e Myers, 1993, p. 4). A partir do posicionamento de Cannizzaro no Congresso de 1860, a hipótese de Avogadro teve sua consagração (Netto, 1989; Mahan e Myers, 1993).

A discussão da presença de posições conflitantes no seio do desenvolvimento das ciências é um elemento importante para a desmistificação da ciência e para o seu desenvolvimento dentro da educação escolar. É importante buscarmos uma nova visão de desenvolvimento científico que se oponha à idéia de uma seqüência de contribuições lineares e cumulativas.

Discussão 4: fórmulas de substâncias simples e compostas vão sendo obtidas com a aplicação da hipótese de Avogadro

De posse do princípio da máxima simplicidade de Dalton, da lei volumétrica das combinações químicas de Gay Lussac e da hipótese de Avogadro, partimos para a determinação de mais fórmulas químicas e pesos atômicos e para a revisão de fórmulas e pesos atômicos já disponíveis.

A formação da amônia

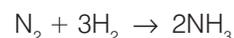
Consideremos que 3 volumes de gás hidrogênio combinam-se com 1 volume de gás nitrogênio para formar

2 volumes de gás amônia. Quais devem ser as fórmulas dessas três substâncias?

Com a hipótese de Avogadro nas mãos, poderemos resolver essa questão. Utilizemos os modelos de bolinhas (vide Figura 1).

Para um volume de nitrogênio dar origem a dois volumes de amônia é preciso que consideremos o nitrogênio tendo molécula diatômica. A relação de 3 para 2 do hidrogênio com a amônia também nos leva a considerar o hidrogênio como sendo diatômico.

Com o tipo de representação que utilizamos atualmente, teremos a seguinte equação para a formação da amônia:



As três fórmulas ficam assim determinadas. Mais um resultado surpreendente!

Observação: Ao analisarmos todos os exemplos trabalhados, constatamos que as leis de Lavoisier e de Proust estão sempre na base de nossos raciocínios. Estamos tão acostumados com o que elas afirmam que suas aplicações nos passam despercebidas.

A formação da água

A água, segundo Dalton (de acordo com o resultado experimental c), possui a seguinte fórmula:



que implica massa do O oito vezes maior que a do H.

A água, segundo Gay-Lussac/Avogadro (de acordo com os resultados experimentais d e c), possui a fórmula:



que implica massa do O dezesseis vezes maior que a do H.

Considerando as informações de c , a fórmula da água como sendo H_2O e $MA_r(O) = 8,0$ (conforme determinado mais acima), obtemos, para o hidrogênio:

$MA_r(H) = 0,50$ (dezesesseis vezes menor que 8,0)

Finalmente, se corrigirmos (multiplicando por dois) a massa atômica relativa (peso atômico) do padrão oxigênio para 16,0, $MA_r(O) = 16,0$, então a $MA_r(H)$ passa a ser igual a 1,0 e a $MA_r(C)$ vai para 12,0.

$MA_r(H) = 0,50 \times 2 = 1,0$

$MA_r(O) = 8,0 \times 2 = 16,0$

$MA_r(C) = 6,0 \times 2 = 12,0$

Como podemos verificar, esses valores são iguais aos que utilizamos atualmente!

Considerações finais

Minha pretensão com este trabalho é contribuir para aumentar a atenção dos

professores para os aspectos relacionados à organização e ao desenvolvimento da química como um sistema teórico-conceitual com o qual buscamos representar e explicar o comportamento do mundo material. Como foi dito anteriormente, muito falamos sobre saberes internos à química e pouco ou nada falamos sobre a química como forma de saber.

Acredito, também, que dessa maneira mais “amarrada” os conhecimentos químicos são melhor compreendidos e assimilados pelos estudantes.

A reflexão epistemológica anda de mãos dadas com o conhecimento histórico. É na evolução histórica dos conhecimentos químicos que costumamos obter materiais férteis para o tipo de abordagem aqui apresentada. É importante ressaltar que este trabalho não se trata de um estudo no qual documentos históricos são tomados

como fonte de informação. Ele foi elaborado a partir de informações trazidas em livros de química geral utilizados no ensino médio e no ensino superior. O que importou aqui foi retratar, com base nos textos consultados, minha percepção da lógica dos avanços obtidos a partir dos recursos empíricos e teóricos disponíveis naquela fase do desenvolvimento da química (final do século XVIII e primeira metade do século XIX). Nesse sentido, foi tratado o desenvolvimento dos conceitos de elemento químico, molécula, reação química, unidade arbitrária, peso atômico e fórmula química (incluindo os cálculos e raciocínios para a obtenção destes últimos).

Algumas outras idéias poderão ser desenvolvidas a partir deste material. A indução e a dedução, a relação entre modelos e teorias e o papel da matemática na química, dentre outros.

Murilo Cruz Leal (mcleal@funrei.br), licenciado em química, mestre em agroquímica e doutorando em educação, é docente do Departamento de Ciências Naturais da Fundação de Ensino Superior de São João del-Rei, em São João del-Rei - MG.

Referências bibliográficas

BRADY, J.E. e HUMISTON, G.E. *Química geral*. 2ª ed. Trad. de C.M.P. dos Santos e R.B. Faria. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1986. v. 1.

FELTRE, R. *Química (Química Geral)*. 4ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 1997. v. 1.

FERREIRA, R. Notas sobre a origem da teoria atômica de Dalton. *Química Nova*, v. 10, n. 3. p. 204-207, 1987.

HERNANDEZ, J.L.; VIOLANT, A.; BINIMELIS, M.I. e GUTIÉRREZ, J.L. *Química*. Barcelona: Ediciones Nauta C., 1997.

MAHAN, B. M. e MYERS, R. J. *Química. Um curso universitário*. Trad. de H.E. Toma (coord.), K. Araki, D.O. Silva e F.M. Matsumoto. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1993.

NETTO, C. G. *Química básica. Química geral*. São Paulo: Editora Scipione, 1989. v. 1.

PERUZZO, T.M. e CANTO, E.L. *Coleção base: química: volume único*. São Paulo: Editora Moderna, 1999.

Para saber mais

ASTOLFI, J.-P. e DEVELAY, M. *A didática das ciências*. Trad. de M.S.S. Fonseca. Campinas: Papyrus, 1990. Este pequeno livro trata de uma variedade de temas importantes para o ensino de ciências. Dentre outros, ele trata de reflexões epistemológicas relacionadas com a didática de ciências, da valorização da história da ciência e do uso de experimentos no ensino.

CHALMERS, A.F. *O que é ciência, afinal?* Trad. de R. Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993. Este é um livro de introdução à epistemologia. Como diz o prefácio: *este livro pretende ser uma introdução simples e clara [...] às opiniões modernas sobre a natureza da ciência*. São apresentadas e discutidas idéias de Karl Popper, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Paul Feyerabend e do próprio autor, tudo começando com uma crítica ao indutivismo.

MORTIMER, E.F. Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de química: mudança conceitual e perfil epistemológico. *Química Nova*, v. 15, n. 3.,

p. 242-249, 1992. Leitura indicada para uma revisão bastante condensada, mas ao mesmo tempo bastante rica sobre as fases racionalistas da química clássica (que começa com os estudos que tratamos neste artigo) e moderna. O artigo discute também a importância do realismo e do empirismo na química e no seu ensino pela aplicação da noção de *perfil epistemológico* (de Bachelard) aos conceitos químicos.

MORTIMER, E.F. *O ensino de estrutura atômica e de ligação química na escola de 2º grau: drama, tragédia ou comédia?* Belo Horizonte: UFMG, 1988 (Dissertação de mestrado). A parte inicial da dissertação (a partir da p. 53) conceitua os fenômenos, as teorias e a linguagem química como sendo os aspectos constituintes de quaisquer conteúdos químicos. Trata das relações que se estabelecem entre eles, conceitua fatos, conceitos, indução, micro e macrocosmo, compara modelos e teorias e discute como esses aspectos aparecem na educação escolar.

Abstract: *How Chemistry Works? Epistemological Reflexions and the Determination of Formulas and Atomic Weights Based on the Mass Laws and Dalton's Atomic Theory* - This paper has its origin in the context of general chemistry classes on the structure of atomic matter, at the university level. It calls the attention to the necessity of reflections and approaches of an epistemological nature at the different levels of teaching, that take into account historical aspects of the development of chemistry as a form of organized knowledge, as a theoretical-conceptual system that allows representing and explaining the behavior of the material world. It gives rise to reflections on the ways that theories, principles, hypotheses, models, laws, rules, concepts, experimental results and arbitrary units are worked in chemistry classes.

Keywords: epistemology and history of chemistry; laws and ponderal relationships in chemistry; theories, laws and experimental results in the teaching of chemistry