

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
Trabalho de Conclusão de Curso / Bacharelado em Química

Rafael Girardi do Nascimento

**ELUCIDAÇÃO DE ESTRUTURAS MOLECULARES AO
LONGO DA HISTÓRIA DA QUÍMICA E SUA ABORDAGEM
NO ENSINO BRASILEIRO**

Santo André

2023

RAFAEL GIRARDI DO NASCIMENTO

**ELUCIDAÇÃO DE ESTRUTURAS MOLECULARES AO
LONGO DA HISTÓRIA DA QUÍMICA E SUA ABORDAGEM
NO ENSINO BRASILEIRO**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de graduação em
Química da Universidade Federal do
ABC como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Química.**

**Orientador: Prof. Dr. Gustavo Morari do
Nascimento.**

**Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo L. O. R.
Cunha**

Santo André

2023

AGRADECIMENTOS

Com a entrega deste trabalho e, como consequência, o fim da minha jornada na Universidade Federal do ABC como Bacharelado em química, devo dizer que aprendi muito mais do que somente química. Aprendi a importância da liderança, a dor da distância e que nada no mundo é tão simples quanto se pensa. Dessa forma, agradeço inicialmente ao povo brasileiro que me proporcionou educação gratuita e de qualidade, mesmo em momentos conturbados. À minha esposa Erika, cujo apoio, carinho e dedicação são fundamentais no meu dia a dia, sendo sua companhia o maior presente que pude receber da UFABC.

Como minha base, quero agradecer à minha família, os Girardi, os Nascimento, os Traue, os Horiuchi, aos Giovanni e à Lourdes. Pelos momentos únicos que passamos e pelos bons ou maus exemplos que me deram.

Aos Professores Doutores Rodrigo Cunha e Gustavo Morari pelas oportunidades e orientações. Em especial, ao professor Rodrigo pelo cuidado e companheirismo ao longo desses anos de Universidade.

“There is something I’ve wanted ever since I was a boy.”

- Eiichiro Oda, One Piece

RESUMO

A química é a ciência central, onde a matéria e suas mudanças são o foco. A molécula é o principal interesse dos químicos, a ideia conceitual sobre sua estrutura mudou ao longo dos últimos dois séculos, e sua evolução ocorreu paralelamente ao avanço da tecnologia e metodologias para síntese e caracterização de novos compostos. Muitos cientistas a estrutura das moléculas, como Lavoisier, Berzelius, van't Hoff, Kekulé, Dalton etc., e propuseram várias teorias relacionadas à estrutura molecular até que um primeiro consenso fosse alcançado. No entanto, poucas menções a esse estudo são feitas nos livros didáticos de química (cujo ensino começou no Brasil em 1931), o que leva a uma noção equivocada sobre esse processo e seus desafios. Em linhas gerais, os estudos químicos têm enfatizado uma abordagem mais técnica/metodológica e, conseqüentemente, os aspectos sociais, políticos e econômicos são negligenciados. Esse processo já demonstrou no passado que é prejudicial à educação e à produção do conhecimento. Neste trabalho, utilizamos como exemplo a história da síntese total do quinino, que se tornou fundamental devido às guerras mundiais e à expansão colonial em países tropicais, onde a malária é endêmica. Neste caso, verifica-se claramente a influência das necessidades sociais, políticas e econômicas, bem como da evolução tecnológica, sendo um caso exemplar de estudo.

Palavras-chave: história da química, estrutura molecular; quinino

ABSTRACT

Chemistry is the central science, where matter and its changes are the focus. The molecule is the chemist's main interest, the conceptual idea about its structure has been changed along the last two centuries, and its evolution took place in parallel with advances in technology and methodologies for synthesis and characterization of new compounds. Many scientists have been studied the structure of molecules, such as Lavoisier, Berzelius, van't Hoff, Kekulé, Dalton, etc., and they proposed several theories related to molecular structure until a first consensus was reached. However, only a few mentions of this study are made in chemical textbooks (whose teaching began in Brazil in 1931), which leads to a mistaken notion about this process and its challenges. In general terms, the chemical studies have emphasized a more technical/methodological approach and as consequence the social, political, and economic aspects are neglected. This process has already shown in the past that it is harmful for education and knowledge production. In this work, we use the example of the history of the total synthesis of quinine, which became fundamental due to the world wars and colonial expansion in tropical countries, where malaria is endemic. In this case, the influence of social, political, and economic needs is clearly verified, as well as technological evolution, being an exemplary case for study.

Keywords: history of chemistry; molecular structure; quinine

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1. Objetivo Geral	9
2.1. Objetivos Específicos	9
3. METODOLOGIA	10
4. ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DO MODELO DE ESTRUTURA MOLECULAR ...	11
4.1. A elucidação da estrutura molecular.....	11
4.2. Os congressos de Karlsruhe e Gênova e o nascimento da química moderna.....	24
4.3. Estudo da história da química no século XXI.....	25
5. ANÁLISE CONCEITUAL DA IMPLEMENTAÇÃO DA QUÍMICA NO ENSINO BRASILEIRO E A METODOLOGIA APLICADA	28
5.1. Contextualização.....	28
5.2. Estruturação do ensino de química no Brasil.....	29
6. SÍNTESE DO QUININO COMO EXEMPLO	34
7. CONCLUSÕES	37
8. PERSPECTIVAS FUTURAS	39
9. BIBLIOGRAFIA	40

1. INTRODUÇÃO

A organização do conhecimento em torno das noções de geometria molecular exigiu várias reformulações até resultar nos modelos demonstrados pelos livros didáticos atuais. Para tanto, foram propostas muitas técnicas de investigação que ofereceram evidências sobre a estrutura da matéria, mais especificamente, em esclarecimentos das concepções de ligação química e arranjo espacial dos átomos e moléculas (estereoquímica) ao longo de toda a construção da história da química.

Assim, a noção de estrutura molecular e seu desenvolvimento conceitual na história da química tem um papel central, alguns autores inclusive colocam este conceito como o grande legado da química moderna (CHAMIZO, 2013). Em outras palavras, a síntese e a análise da estrutura das moléculas para aplicação industrial ou para estudos fundamentais sempre foram foco central da química (MULLINS, 2008). Em vista dessa importância, surgiu o interesse em revisar como a história da estrutura molecular é abordada no ensino brasileiro. Dessa forma, iniciou-se pelas origens da concepção do conceito de estrutura no fim do século XVIII até a concepção das moléculas como entidades pertencentes a um plano tridimensional, cuja ideia foi proposta pelo químico alemão August Wilhelm von Hofmann (1818-1892) no congresso de Karlsruhe (1860).

Essa retomada se justifica na medida em que os livros didáticos, tanto da educação básica, quanto da educação superior, vêm suprimindo informações relevantes para a compreensão e contextualização de como os químicos modernos puderam propor determinados modelos estruturais. A preocupação com os efeitos de tais lacunas sobre a compreensão de como a ciência é constituída encontra-se presente em vários trabalhos da área de ensino de Ciências e, conseqüentemente, de história e filosofia da ciência e, especialmente daqueles que discorrem sobre livros didáticos (OKI; MORADILLO, 2008).

Silva, Fonseca e Freitas (2018) investigaram vários livros didáticos de química com o intuito de demonstrar como estão sendo abordadas as questões da historicidade das estruturas moleculares. Os resultados obtidos evidenciam que, na maioria das obras analisadas, os modelos encontram-se alterados e com significativos recortes em suas histórias, os quais deixam de contemplar aspectos relevantes sobre como se deu o processo de construção de cada modelo, bem como sobre quais fatores influenciaram sua construção. Em geral o que a maior parte dos

livros oferece é um histórico linear e descontextualizado dos modelos, sem a problematização de quais razões levaram os cientistas à necessidade de criá-los (MELZER; AIRES, 2015). Os estudos historiográficos permitem entender as bases sobre as quais são construídas as narrativas produzidas por uma disciplina, bem como auxiliam os que se ocupam de reaproximar a história da ciência da didática da ciência, e a compreender de modo mais profundo como estabelecer essa conexão (MARTINS, 2006).

Raupp (2020) destaca que em alguns livros didáticos, adotados no ensino médio, a contextualização é abordada como uma simples informação adicional ou uma “curiosidade”. Dessa maneira, os alunos recebem a mensagem de que nomes, fórmulas e propriedades são prioridades de estudo e que a compreensão dos demais aspectos é irrelevante. Enfatiza também que, no geral, autores de livros didáticos parecem não prestar atenção suficiente para a pesquisa histórica sobre a ciência.

Assim, o presente trabalho foi organizado em duas partes; a primeira destaca as dificuldades e desafios que levaram os cientistas do passado a propor e a desenvolver o conceito de estrutura, e, em seguida, apresentar como está organizado o ensino de estrutura molecular no ensino de química no cenário nacional. A presente análise tenta correlacionar as modificações socioeconômicas desde o séc. XIX, com as mudanças de abordagem sobre estrutura nos currículos de química.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Realizar um levantamento historiográfico do conceito moderno de estrutura, desde o fim do séc. XVIII, de seu desenvolvimento até às fórmulas estereoquímicas. Além disso, utilizar o exemplo da história da síntese do quinino como forma de abordar história da química no ensino de química.

2.2. Objetivos Específicos

- Revisar sobre o contexto histórico de construção e desenvolvimento do conceito de estrutura, desde fim do século XVIII, época de Lavoisier, até meados do século XIX, com von Hofmann e o Congresso de Gênova;
- Analisar como os aspectos históricos e historiográficos do modelo de estrutura molecular são retratados no ensino de química no Brasil.
- Utilizar o exemplo da história da síntese do quinino como forma de abordar história da química no ensino de química.

3. METODOLOGIA

A fim de alcançar respostas aos objetivos propostos, optou-se como metodologia o estudo de caso histórico visando contextualizar a evolução da representação das estruturas moleculares. Para tanto, foram seguidas as diretrizes da historiografia da ciência, que permite uma análise interpretativa do processo de construção do conhecimento científico, utilizando critérios historiográficos.

Na historiografia da ciência trabalha-se o conhecimento científico como atividade dos cientistas. Ou seja, se ocupa da construção e do desenvolvimento de um conceito científico e de sua relação com a sociedade e com outros conceitos. Assim, realiza-se o mapeamento de fatos históricos visando elucidar o pensamento da época, por meio da leitura de fontes primárias, principalmente, desvenda-se como os conceitos surgiram, por que foram abandonados ou transformados, quais as demandas sociais para isso e quais os problemas existentes na época que exigiam uma resposta inexistente até então (MARTINS, 2006).

Para a análise do conteúdo de química ensinado nas escolas, abordando também a elucidação estrutural, foram apresentados os momentos históricos nos quais estão presentes a estruturação do ensino de química no Brasil. Assim, abordando seus modelos de ensino dos períodos estudados, tecendo assim uma crítica em relação a esses modelos e, por fim, relacionando-os com seu momento histórico e suas consequências para com a construção do conhecimento. Utilizou-se, também, como exemplo, para validação da hipótese, a história da síntese do quinino.

Ao final, foi feita uma discussão entre o conteúdo que é apresentado no ensino de química, no que tange às estruturas moleculares, e tudo o que foi retirado ou considerado não importante, a partir da coleta de eventos históricos, que levaram ao entendimento de estrutura molecular como é tido no Século XXI. Sendo feita uma abordagem de forma crítica em relação a essas retiradas de conteúdo e enaltecendo sua importância e a forma como se é ensinado hoje em dia. Discutindo os efeitos gerados na sociedade com essa atitude.

4. ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DO MODELO DE ESTRUTURA MOLECULAR

A molécula é o principal instrumento de trabalho de um químico. Isso pode ser observado pelo artigo “Os seis pilares da química orgânica” (MULLINS, 2008). Esses pilares são entendidos como a base conceitual dos químicos orgânicos que são: eletronegatividade; ligação covalente polar; efeito estérico; efeito indutivo; fenômeno de ressonância; aromaticidade. Para todos esses pilares, a estrutura molecular se mostra fundamental em seu entendimento e aplicação. Assim, neste tópico, será discorrido sobre a história da elucidação da estrutura molecular desde sua concepção, passando pelo Congresso de Gênova e atualmente.

4.1. A ELUCIDAÇÃO DA ESTRUTURA MOLECULAR

Existem divergências na literatura historiográfica quanto à origem da química como ciência moderna, alguns a colocam no início no séc. XVII com Robert Boyle (1627-1691) e George E. Stahl (1659-1734) e outros no séc. XVIII como Antoine Lavoisier (1743-1794) (OLIVEIRA, 2016). Entretanto, é quase consenso que a química se consolidou no séc. XIX como uma ciência estruturada academicamente e com impactos diretos nas cadeias industriais inglesa e alemã, assim é que também no campo experimental e teórico-conceitual haverá uma evolução imensa em vários aspectos da química neste período (MEDEIROS, 2017).

É oportuno lembrar que a história da química Moderna se inicia com Lavoisier¹, conhecido como um dos maiores nomes da Revolução química do Século XVIII pela “Lei da Conservação das Massas” e pela teoria do “Oxigênio de Combustão”. Os seus trabalhos experimentais e explicações contundentes referentes ao oxigênio, além da refutação da hipótese dos quatro elementos (terra, fogo, ar e água) e da Teoria do Flogisto, ainda difundida à época, contribuíram para a elaboração da nomenclatura e simbologia (SILVA; FONSECA; FREITAS, 2018).

¹ Muitos historiadores da ciência têm questionado os acontecimentos do Século XVIII que tradicionalmente apontam Lavoisier como fundador da química moderna. Essa ideia está ligada aos fundamentos positivistas de ciência e progresso do Século XIX e aparecem até hoje nos livros didáticos de química (SANTOS, 2015).

Observa-se na figura 1 os vários símbolos, estruturados segundo um conjunto de regras fixas e precisas. Cada traço (linha reta) simboliza uma substância simples, as substâncias inflamáveis são caracterizadas por um semicírculo, que pode tomar quatro posições. Cada uma delas representa um elemento: \cap , representa o fósforo, \cup representa o enxofre, \subset representa o carbono, e \supset representa o hidrogénio. Os metais são caracterizados por um círculo em que se inscreve a primeira letra da palavra latina dessa substância. Os radicais ácidos são simbolizados por um quadrado, quando a substância é composta e os seus constituintes não são conhecidos, estes são representados por um quadrado oblíquo, os álcalis e as terras são representados por triângulos, em que os que têm o vértice para cima são as terras e com o vértice para baixo são os álcalis (COSTA, 2010).

Figura 1 – Na obra “Methode de Nomenclature Chimique” consta a Tabela das combinações do calórico onde estão desenhados os símbolos utilizados por Lavoisier.

The figure consists of two pages from Lavoisier's work. The left page is titled "II. TABLEAU DES COMBINAISONS DU CALORIQUE" and contains a table with columns for "acide", "base", "oxyde", "sels", "sulfates", "nitrates", "phosphates", "arsenates", "borates", "silicates", "fluorures", "carbonates", "sulfures", "arsenures", "borures", "silures", "fluorures", "carbonates", "sulfures", "arsenures", "borures", "silures", "fluorures", "carbonates", "sulfures", "arsenures", "borures", "silures". The right page shows various chemical symbols and combinations, including triangles, circles, and squares, representing different elements and compounds.

Fonte: Costa (2010, p. 53).

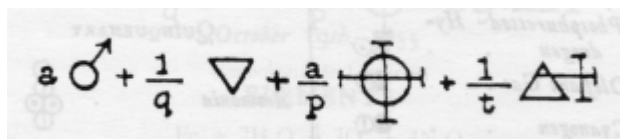
Assim, historicamente a evolução da química se deu pela transformação dos seus conceitos e, por conseguinte, da aplicação de diferentes metodologias de ensino. Com efeito, a tentativa de compreensão do princípio que constitui as coisas materiais deixou de ser atribuída aos elementos aristotélicos e alquímicos e, lentamente, passou a ser observada e analisada sob a recuperada teoria atômica. Segundo Oliveira, 2017:

O inglês Robert Boyle teve suma importância na transição da alquimia para a química, em virtude do seu pioneirismo com os estudos experimentais sobre o comportamento dos gases. Com isso, conseguiu estabelecer a conhecida Lei de Boyle, afirmando que o produto da pressão(P) de um gás, pelo seu volume é uma constante (K), em temperatura constante. Na sua trajetória profissional também foi um crítico de ideias da época, cujas críticas foram publicadas no livro: *The Sceptical Chymist*, o qual ele repreende qualquer tipo de mistificação que a alquimia trazia, além dos pareceres equivocados sobre os elementos químicos e a matéria. Mesmo sem conseguir definir ou explicar exatamente o que é matéria, Boyle sugeriu que a matéria seria constituída por corpúsculos (átomos) que variavam de tamanho e especificação. Mas o que realmente ficou explicitado foi a importância dada à experimentação e a retirada do pensamento de “magia” que cercava a alquimia da época. A partir desse momento se inicia a Revolução química, por volta de 1700, sob a liderança científica de Antoine Lavoisier (Oliveira, 2017, p. 11).

Assim sendo, no decorrer do tempo, os estudos sobre a química se ampliaram, conseqüentemente, a comunidade científica foi construindo cada vez mais representações sem um consenso entre os químicos de diferentes países; algo similar ao ocorrido com a diversidade simbólica dos alquimistas. Esta ampliação de representações se dá basicamente por dois motivos: em primeiro lugar, a quantidade de compostos cresceu expressivamente e, portanto, representações cujo vínculo era sobretudo sensório (e em especial visual) já estavam alcançando o seu limite de descrição de uma variedade de substâncias. Em segundo lugar, filosoficamente, este problema representacional na química aconteceu concomitantemente com a expansão do Iluminismo francês (ANDRADE NETO; RAUPP; MOREIRA, 2009).

Em relação à nomenclatura e simbologia elaborada por Lavoisier (Oliveira (2017), embora, tenha sido considerada uma representação mais ajustada e mais explícita, a dificuldade em trabalhar com os símbolos era ainda muito grande na época, como exemplificado na figura 2.

Figura 2 – Simbologia proposta por Lavoisier

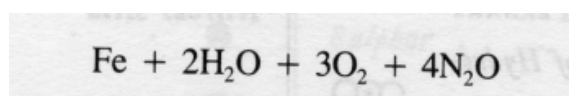


Fonte: Costa (2010, p. 54).

O símbolo empregado, por exemplo, para representar o ferro, corresponde ainda ao que era empregado pelos alquimistas, que, por sua vez, era o símbolo dado pelos astrônomos para representar Marte - ♀. Para representar a água, Lavoisier desenha um triângulo invertido ∇ , para o oxigênio uma circunferência atravessada por uma cruz. O óxido de azoto (NOx) por sua vez está representado por um triângulo com a cruz desenhada do lado exterior a este. Embora estes símbolos sejam regulares e fáceis de decifrar, nada dizem quanto à composição de cada um destes compostos

Em 1814, o químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) eliminou a simbologia utilizada para as substâncias químicas, ao compilar os elementos para a farmacopeia sueca, em razão de substituí-la por palavras, por acreditar ser mais fácil utilizar a sua forma abreviada do que desenhar uma figura com pouca analogia com as palavras e que, para ser legível, deve possuir um tamanho muito maior do que a escrita normal. Assim sendo, propôs para a representação dos símbolos químicos a escrita de letras, para maior facilidade de anotação. E para que houvesse uma maior uniformização, escolheu para cada símbolo químico a letra inicial do nome latino (comum) de cada elemento químico. Se existissem dois elementos químicos com a mesma inicial, então o símbolo químico corresponderia às duas primeiras letras do seu nome latino. Os símbolos químicos apresentam sempre a primeira letra em maiúscula e a segunda em minúsculas, como, por exemplo, os elementos flúor e ferro, cujos símbolos químicos são respectivamente F e Fe como apresentado na figura 3 (COSTA, 2010).

Figura 3 – Simbologia de Berzelius.



Fonte: Costa (2010, p. 54).

Note-se que a simbologia de Berzelius apresenta-se mais clara e simples. Caracteriza-se pela total mudança em relação à antiga simbologia e pelo recurso à utilização das primeiras letras correspondentes aos nomes dos elementos que se pretendem simbolizar. Esta linguagem diferencia-se com a linguagem de Lavoisier, que era uma nomenclatura descritiva que somente previa quais substâncias resultam de uma reação.

A proposta de Berzelius proporcionou uma linguagem matemática com a possibilidade de estabelecer as quantidades relativas que estavam envolvidas na reação. Um exemplo da diferença entre ambas pode ser exemplificado do seguinte modo:

“**Lavoisier:** Zinco + Ácido Clorídrico = Cloreto de Zinco + Hidrogênio”

“**Berzelius:** apresenta as proporções: $\text{Zn} + 2 \text{HCl} = \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$ ”

Note-se que Berzelius insere, em sua notação, um elemento de carga cognitiva: abandona-se o nome químico do composto, como proposto por Lavoisier na sua representação, que passa a ser uma função atribuída ao processamento cerebral interno do químico que faz a leitura da equação química. Entretanto, ameniza a carga cognitiva em prever quantidades de compostos, bem como conservar o elemento químico de cada espécie molecular, tanto do lado esquerdo (reagentes) como do lado direito (produtos) da reação. Logo, a alteração na notação acontece para solucionar o principal problema da conservação de massa e de identificação do elemento químico. Adicionalmente, as representações passam a ser operáveis, de igual modo à matemática, onde se podem fazer cálculos estequiométricos diretamente nas representações externas. As representações, portanto, passam a ser operáveis, exigindo o desenvolvimento de novos invariantes operatórios, que, porém, possibilitaram uma redução da carga cognitiva, haja vista transferir operações internas para operações externas, diretamente na representação (ANDRADE NETO; RAUPP; MOREIRA, 2009).

Com o avançar dos conhecimentos teóricos, a representação diagramática foi considerada imprescindível, em relação aos modelos atômicos e moleculares. Com isso, John Dalton (1766- 1844), contemporâneo de Berzelius e promotor de uma nova estrutura para os compostos, contribuiu com o seu trabalho para uma nova forma de visualizar os compostos e de os estruturar espacialmente, embora não o

faça de uma forma tridimensional, consegue fazê-lo em uma aproximação bidimensional (COSTA, 2010).

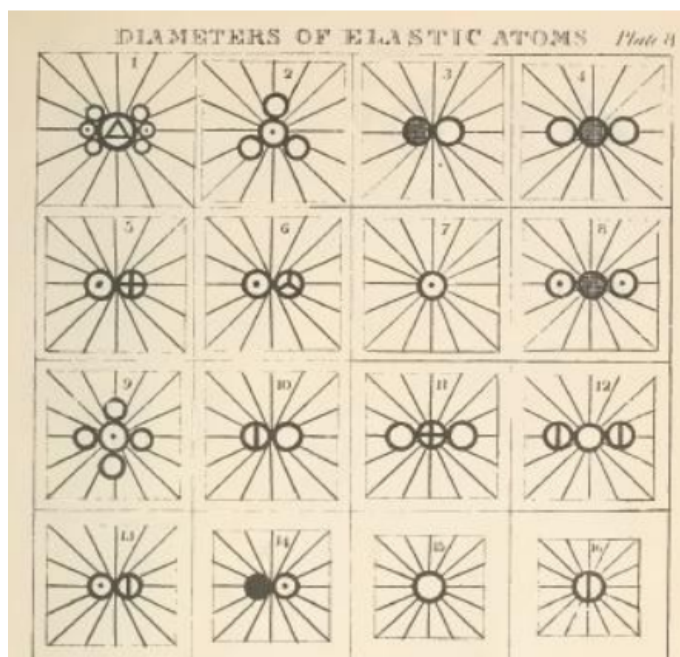
Com base na filosofia natural newtoniana, Dalton adotou como ponto de partida dos seus estudos a Tabela de 33 elementos do “*Traité Élémentaire de Chimie*” de Lavoisier e identificou a diversidade de elementos químicos com os átomos químicos heterogêneos (CAMEL; KOEHLER; FILGUEIRA, 2008).

A Teoria Atômica foi construída a partir de uma série de trabalhos publicados por Dalton, todos eles com foco específico nas questões relacionadas aos gases e à composição da atmosfera. Ou seja, grande parte dos estudos pertencem à área de meteorologia. Nesse sentido, parece haver uma progressão e uma mudança na forma que o autor encarava o átomo, de um corpuscularismo newtoniano, de acordo com a leitura do *Principia* e do *Óptica*, chegando a uma espécie de híbrido entre a teoria corpuscular de Newton e as leis de afinidade química, teorias muito abordadas na época sobre misturas gasosas. Todavia, a construção do seu modelo começou em 1802 com a publicação da primeira lei das misturas gasosas e terminou em 1810, com a publicação das mudanças teóricas ocorridas a partir de 1804, quando Dalton teve um encontro com T. Thomson e W. Henry, em que discutiram as bases da sua teoria atômica (MELZER; AIRES, 2015).

A Teoria Atômica de Dalton estabelece que o átomo consiste em uma pequena esfera maciça e indivisível, e de que a formação dos compostos seria uma combinação entre essas esferas, impulsionando, assim, a pesquisa sobre os fenômenos sub-microscópicos da química, o que ampliou e amadureceu o estudo da estrutura molecular na química (COSTA, 2010).

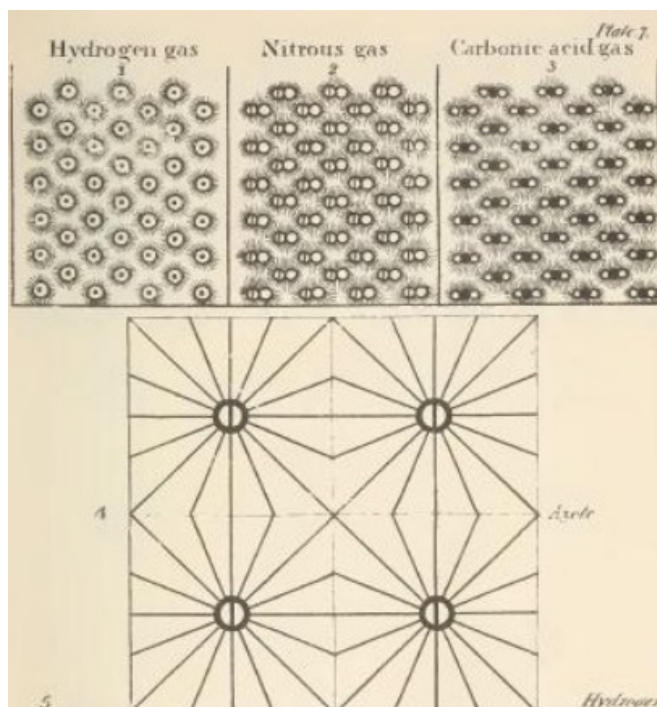
Dalton elabora as bases de seu átomo e o descreve como um corpúsculo esférico de tamanho variável que era envolvido por uma “atmosfera”, designada de calórico (heat), sendo responsável pela atração e repulsão entre os elementos, medido e variável entre diferentes elementos químicos e quantificado por meio do valor de calor específico, como demonstrado nas figuras 4 e 5 (COSTA, 2010).

Figura 4 – Representações de moléculas realizadas por John Dalton em sua obra publicada no ano de 1810.



Fonte: Melzer e Aires (2015, p. 66).

Figura 5 – Representações de moléculas gasosas feitas por John Dalton em sua obra publicada no ano de 1810.



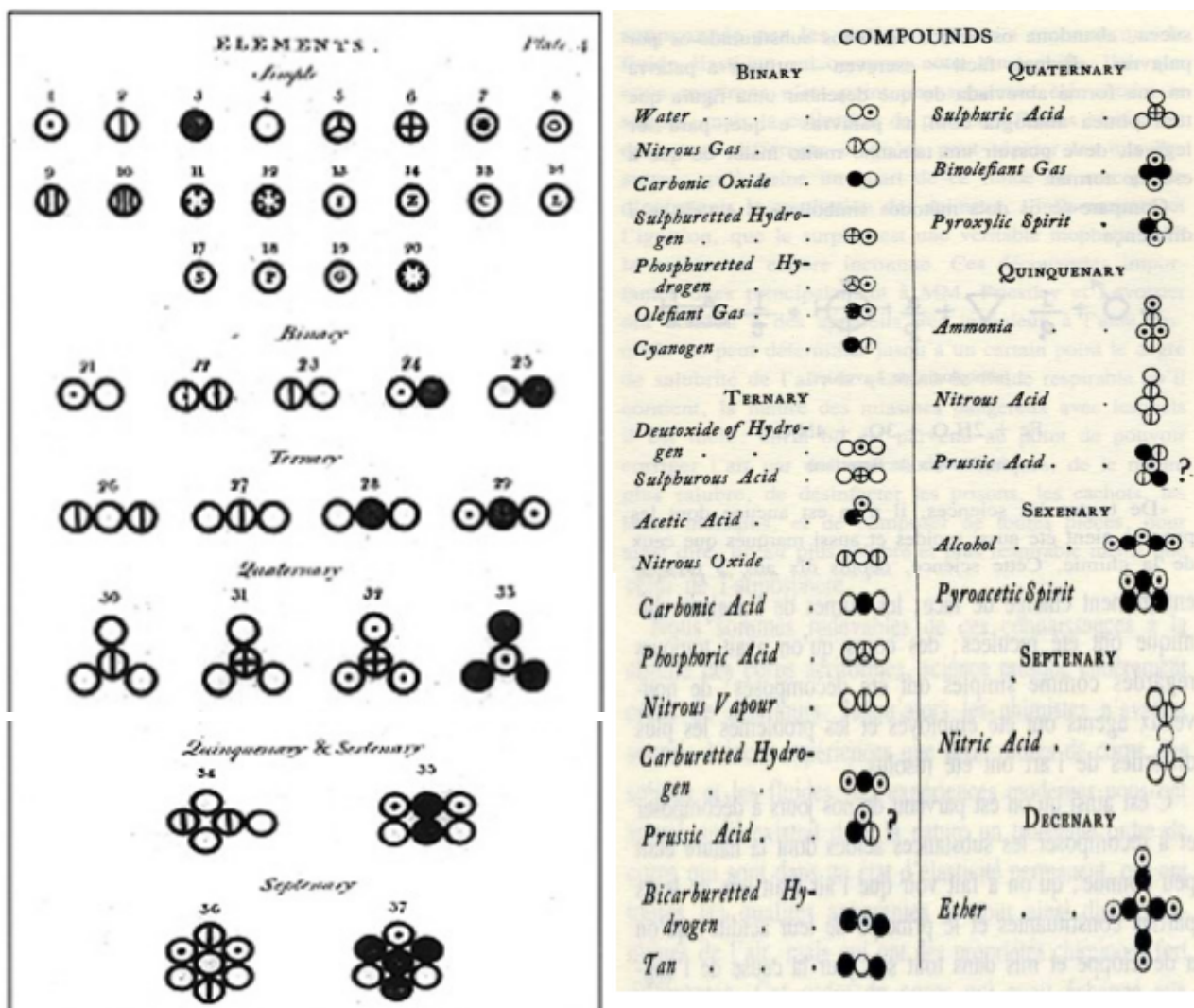
Fonte: Melzer e Aires (2015, p. 66).

O trabalho Dalton publicado no “New System of Chemical Philosophy” é representado em uma tabela, no qual constam representados vários átomos, como o hidrogênio, oxigênio, ferro, zinco, cobre, bem como compostos designados por ele como binários, ternários, quaternários, como apresenta a figura 6. Mais tarde, estes compostos, com esta classificação, serão designados por moléculas (COSTA, 2010).

A elaboração do primeiro modelo físico a três dimensões, que constitui a base do conceito de átomo, ainda hoje utilizado é atribuída a Dalton. Acredita-se que a linguagem da química, reformulada por Lavoisier e Berzelius, mostrou revelar-se incapaz de embasar a nova Teoria Atômica. A sua bidimensionalidade tornou-se ultrapassada tendo em vista as vantagens de uma representação tridimensional (COSTA, 2010).

A Teoria do Átomo de Dalton contempla comportamento de gases, fenômenos meteorológicos, bem como a composição da atmosfera. Entretanto, essa proposta foi aceita por vários anos até o seu modelo dar os primeiros sinais que chegara a um limite, onde eram necessários novos estudos para a estrutura atômica (COSTA, 2010).

Figura 6 – Tabelas elaboradas por Dalton que se encontram publicadas na obra “New System of Chemical Philosophy”.



Fonte: Costa (2010, p. 56).

Vale acrescentar que embora Dalton não tenha estruturado os compostos de um modo tridimensional, o faz para os átomos. No Museu da Ciência localizado em Londres encontram-se expostas esferas em madeira construídas por ele, como apresentado na figura 7. No início do século XIX com a aceitação da sua teoria do átomo a química ganha corpo como ciência, avançando nas análises experimentais de composições, fórmulas, reações e reatividade de substâncias (SANTOS, 2017).

Figura 7 – Esferas de madeira criadas por Dalton expostas no museu da ciência de Londres.



Fonte: Costa (2010, p. 58).

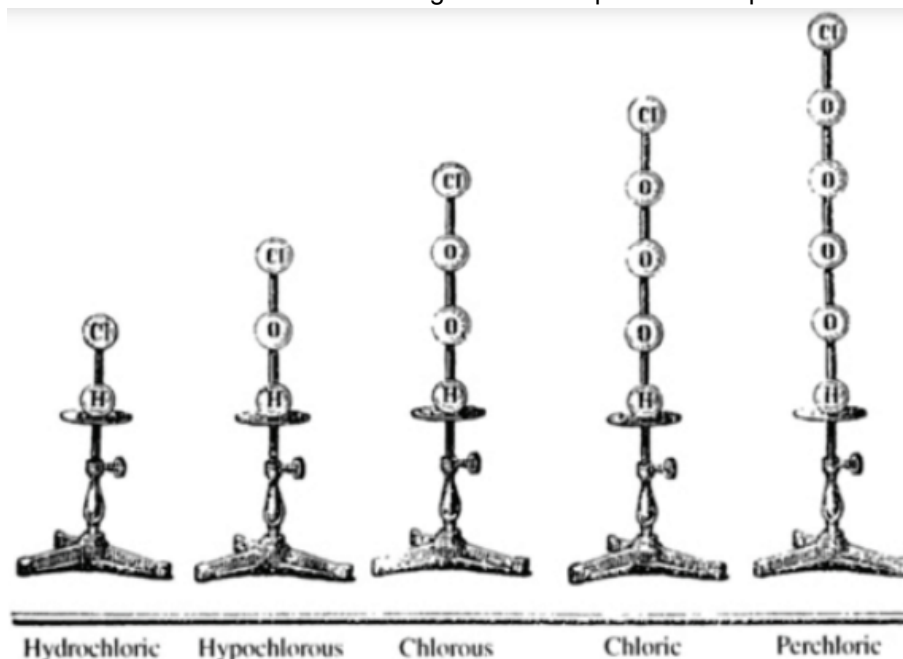
Em 1850, o químico alemão August Wilhelm von Hofmann (von't Hoff) (1818-1892) descobriu em seus experimentos que os hidrogênios na molécula de amônia (NH_3) podem ser substituídos por um número correspondente de radicais (até três). Na mesma época, o químico inglês Alexander William Williamson comparou algumas propriedades da água, álcool e éter, demonstrando que o oxigênio possui um poder fixo de ligação igual a dois. Tais descobertas sobre as ligações de uma molécula, enriquecidas com as observações dos químicos Kolbe e Frankland, culminaram na criação da palavra “valência”, originária do latim que significa “poder”, que passou a servir de fundamento para a organização estrutural dos compostos químicos, definindo mais tarde uma linha de pesquisa sobre a Geometria Molecular (SILVA; FONSECA; FREITAS, 2018).

Sobre a criação da valência, Camel, Koehler e Filgueira (2008, p. 544) elucidam que:

É possível perceber duas correntes explicativas na química do século XIX: uma consoante à tradição da filosofia natural newtoniana e outra derivada da tradição da história natural. Na primeira, a explicação se faz em termos de corpúsculos elementares, massas e afinidades. Na segunda, a prática da química vegetal, química animal, química agrícola e química fisiológica levou à investigação dos constituintes e produtos derivados de organismos vegetais e animais. Esses produtos, quando analisados, revelaram ter na sua constituição mais simples pelo menos os elementos carbono e hidrogênio. O desenvolvimento das teorias de estrutura molecular dentro de uma tradição da história natural explica as atividades das moléculas químicas na linguagem biológica da forma e da função ao invés da linguagem mecânica de matéria, movimento e força. É nessa tradição e não na de força mecânica, a partir das teorias orgânicas dos tipos e estrutura, que surgiu um dos conceitos mais importantes para o desenvolvimento teórico da química - o conceito de valência - que permitiu formular o arranjo dos átomos em uma molécula. As teorias dos tipos e estrutura levaram a um questionamento sobre a constituição dos radicais e à aplicação de um atomismo heurístico, contribuindo para a distinção entre átomos e moléculas.

De forma pioneira, von't Hoff montou uma série de moléculas para ilustrar o efeito da adição de outros átomos à estrutura base. Baseado na teoria da estrutura molecular, apresentou modelos físicos para explicar a razão pela qual o ácido clorídrico (HCl) poderia ser transformado em ácido hipocloroso (HClO) pela adição de 1 oxigênio, ácido cloroso pela adição de 2 oxigênios, ácido clórico pela adição de 3 oxigênios e ácido perclórico pela adição de 4 oxigênios à molécula, como exemplifica a figura 8

Figura 8 – Estruturas moleculares de alguns ácidos apresentadas por von Hofmann.

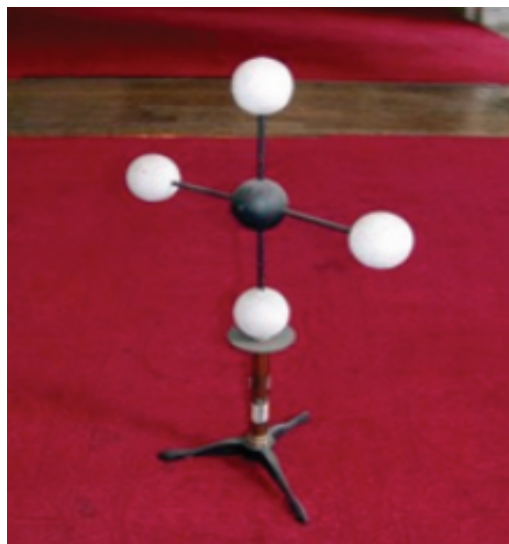


Fonte: Silva, Fonseca e Freitas (2018, p. 635).

Na exposição da fórmula de Von't Hoff cada estrutura possui o oxigênio compreendendo o seu número de combinação fixa. Na época, alguns químicos se posicionaram contrários à exposição de fórmulas baseadas na teoria estrutural como indicadores da disposição espacial das moléculas, em virtude da inexistência de recurso eficiente para essa finalidade. Por conseguinte, as quatro últimas estruturas destoavam dos arranjos espaciais conhecidos hoje para essas moléculas, enquanto as três últimas diferem também na ordenação dos átomos. Posteriormente, descobriu-se a existência de uma centralização do átomo de cloro. Von Hofmann seguiu o mesmo raciocínio e retratou como as moléculas de etano, propano, pentano, entre outras, poderiam ser construídas a partir do metano, como apresenta a figura 9, mas agora com uma diferença: para cada carbono acrescido haveria a

necessidade de adicionar mais dois hidrogênios, devido ao seu poder de combinação fixa igual a quatro (SILVA; FONSECA; FREITAS, 2018).

Figura 9 – Modelo molecular do metano apresentado por von Hofmann.



Fonte: Silva, Fonseca e Freitas (2018, p. 635).

Quase uma década depois, os químicos August Kekulé e Archibald Scott Couper publicaram as suas pesquisas compondo “A Teoria Estrutural”. Foi a partir desses estudos pioneiros que surgiram alguns conceitos, como a noção de carbono tetravalente permitindo afirmar que os compostos orgânicos são constituídos de cadeias de carbonos ligados entre si; e iniciou-se também a adoção de diagramas com traços para representar os arranjos moleculares (GRANDO; KALINKE; CLEOPHAS, 2022).

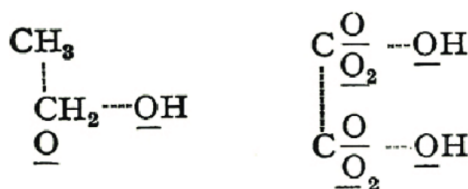
O processo para a construção da teoria estrutural molecular passou por diversas etapas e contou com a colaboração de diversos cientistas. O modelo de Dalton serviu de inspiração para que cientistas como Dobereiner realizasse os cálculos de quantificação das massas atômicas de diversos elementos químicos como Hidrogênio, Oxigênio, Enxofre etc. Futuramente, fazendo experimentos, pode relacionar propriedades de compostos a seus respectivos pesos, o que levaria à descoberta da periodicidade dos elementos, por Kekulé, em 1860 (ROCKE, 1979).

No mais, a partir de 1878, a teoria estrutural foi o palco de discussões e por diversos nomes da química como Kekulé, Couper e Butlerov. O último, apesar do nome ser menos conhecido que os primeiros, foi o pioneiro no uso da teoria estrutural a todos os compostos a partir da isomeria e da influência individual de

cada átomo, resultando na individualidade de cada molécula. Isso, claro, só foi possível com conceitos de radicais orgânicos e mecanismos de adição já aceitos pela comunidade científica. Dessa forma, Butlerov, como enunciado por ele mesmo, pode não ter sido o criador da teoria estrutural, mas conseguiu unir todos os conceitos da época sobre uma única teoria (ROCKE, 1981).

O trabalho de Couper proporcionou a representação das moléculas por desenhos dos átomos e linhas representando suas ligações, como demonstrado na figura 10, sendo considerado um modelo de grande utilidade para a teoria das ligações, porém não houve harmonização com a natureza tridimensional das moléculas (SILVA; FONSECA; FREITAS, 2018).

Figura 10 – Representações de Estruturas Moleculares de Couper.



Fonte: Silva, Fonseca e Freitas (2018).

Van't Hoff dedicou-se na representação das estruturas das moléculas com modelos moleculares, utilizando bolinhas de cróquete (jogo recreativo) para explicar a adição de átomos em uma cadeia e seu efeito na Geometria Molecular. Contudo, embora os estudos abordando o tema tenham evoluído muito desde seu início, a compreensão de que as moléculas estavam num plano tridimensional, ou, melhor dizendo, de que as estruturas não estavam num mesmo plano, não era muito presente na sociedade acadêmica até o surgimento da estereoquímica em 1879, que consiste na parte da química que estuda o arranjo espacial das moléculas, protagonizado por Le Bel e Van't Hoff. Os estereoisômeros com diversas propriedades ópticas não podiam ser explicados unicamente pela teoria estrutural de Kekulé, tendo em vista que as estruturas se diferenciam somente na organização espacial das moléculas e não na ordem dos átomos em si (SUTTON, 2008).

4.2 OS CONGRESSOS DE KARLSRUHE E GÊNOVA E O NASCIMENTO DA QUÍMICA MODERNA

Em março de 1860, em Paris, foram reunidos os maiores nomes em química da época para ser palco do primeiro congresso de químicos da história. A motivação foi de que havia uma certa urgência na criação de um comum acordo entre os diferentes pontos de vista em relação às ideias do que seria um átomo, uma molécula, a uniformização da nomenclatura utilizada etc. Para tal, foram convidados 125 cientistas, dos quais a maioria já foram cotados para receber o prêmio Nobel em suas áreas de atuação. Esse encontro ficou conhecido como o Congresso de Karlsruhe (KAUFMANN, 2010).

O resultado desse encontro proporcionou passadas largas na química, removendo incertezas em relação aos pesos moleculares, fazendo possível a distinção entre as fórmulas empíricas e moleculares, assim como a formulação correta de compostos orgânicos mais simples como, álcoois, hidrocarbonetos etc. Muito por contar das hipóteses de Avogadro, que se baseiam na ideia de que volumes iguais de gases, quando à mesma temperatura e pressão, contêm o mesmo número de moléculas, somando as ideias da teoria atômica de Dalton e o poli-atomismo dos gases de Gay-Lussac (KAUFMANN, 2010).

Mediante o sucesso desse encontro, novos encontros foram promovidos levando a novas resoluções sobre temas de estrutura molecular e nomenclatura (KAUFMANN, 2010). Assim como na obra “O Senhor dos Anéis” (1954) de J.R.R. Tolkien, as criaturas antigas em forma de árvore, os Ents, levavam horas ou até dias para apenas falar seus nomes, pois os mesmos contemplavam toda a sua história de vida, as moléculas não eram tão diferentes nesse sentido. A falta de um sistema de nomenclatura e estruturação unificado e simplificado fez com que fosse uma tarefa árdua e confusa qualquer discussão envolvendo química (HEPLER-SMITH, 2015).

Assim, em 1892, protagonizado pelo químico francês Charles Friedel, foi realizado o Congresso de Gênova no Hotel de la Métropole, cujo intuito era a unificação dos conceitos de química no que tange aos seus diagramas, nomes e substâncias, criados e pensados por diversos ao longo da história da Ciência, sobre uma única linha de pensamento, para dar início à nomenclatura dos compostos químicos como é entendida hoje em dia. É importante salientar que a nomenclatura

está intrinsecamente relacionada à estrutura, pois, a partir da estrutura, é possível atribuir uma nomenclatura onde o conceito por trás de sua elucidação, especialmente se tratando de química orgânica, pode ser compreendido por além de quem o pensou (HEPLER-SMITH, 2015).

Dessa forma, o maior desafio no Congresso, seria unificar todas as maneiras de nomenclatura sob uma única vertente, criando uma linguagem simplificada e acessível para os quatro cantos do mundo para extirpar os conflitos gerados pela impossibilidade de comunicação entre as diferentes linhas de pensamento. No entanto, Alexander Crum Brown, um dos pioneiros no uso da fórmula estrutural apontou, quatro meses após o fim do congresso, que as nomenclaturas devem fazer referência às suas fórmulas e não às substâncias. Tal apontamento reforçou que o sistema de nomenclaturas não opera sobre as propriedades da substância ou suas interações com o meio, mas sim pensando no meio intramolecular, ou seja, suas ligações químicas, sua composição molecular, isomeria e estereoquímica (HEPLER-SMITH, 2015).

4.3 ESTUDO DA HISTÓRIA DA QUÍMICA NO SÉCULO XXI

R. W. Hoffmann em seu livro “Classical Methods in structure elucidation” realizou uma tratativa contemplando os anos de 1860 a 1960 sobre a elucidação estrutural, onde pontua a discrepância entre as metodologias aplicadas em 1860, quando químicos dispunham de balanças, bicos de Bunsen e alguns termômetros, como apresenta a figura 11, caracterizando moléculas apenas pelos parâmetros de temperatura de ebulição, homogeneidade e peso molecular e em relação ao uso da cromatografia para compostos orgânicos (HOFFMANN, 2018).

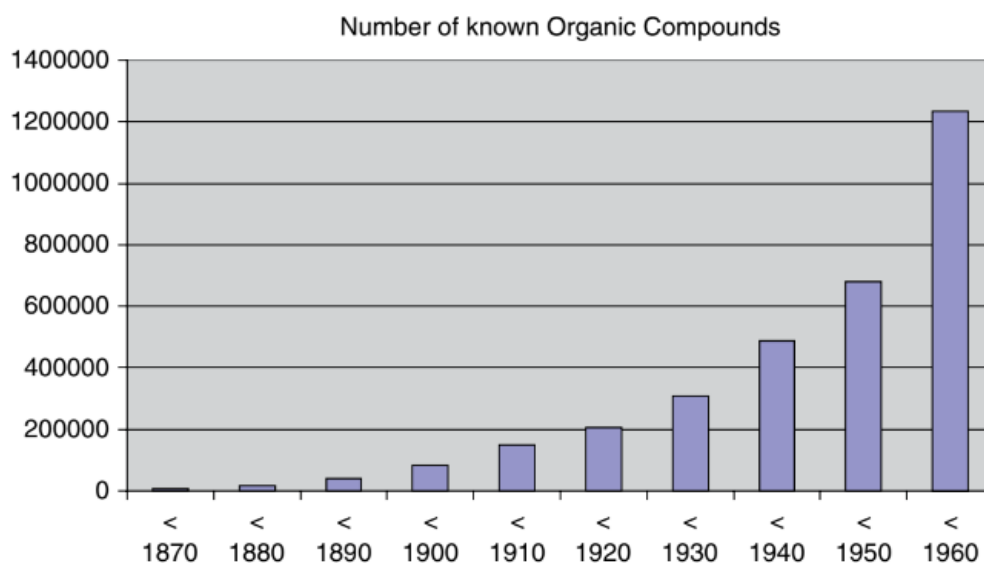
Figura 11 - Instrumentos utilizados em 1860 para caracterização de compostos químicos



Fonte: R. W. Hoffmann em seu livro "Classical Methods in structure elucidation". Página 03.

Com tão poucas ferramentas, os critérios de caracterização de compostos eram limitados e muitas das moléculas acabam por serem caracterizadas com parâmetros muito próximos umas das outras, sendo que a não-cristalização do composto ou a isomeria se mostravam barreiras formidáveis muito por conta que a cromatografia não havia sido inventada ainda. Assim, enquanto em 1870 o número de compostos orgânicos conhecidos era inferior a 200.000 (duzentos mil), em 1960 esse número era superior a 1.400.000 (Um milhão e quatrocentos mil), traçando uma curva quase exponencial no estudo de novos compostos como apresenta a Figura 12 a seguir (HOFFMANN, 2018).

Figura 12 - Número de compostos orgânicos conhecidos por década.



Fonte: R. W. Hoffmann em seu livro "Classical Methods in structure elucidation". Página 03.

A década de 1950, marcada pela "revolução instrumental" e pelas facilidades proporcionadas por ela na síntese de novos compostos, sua caracterização e mecanismos de reação, somado ainda com o apelo ao recém-descoberto "Reino Quântico", levou a história da química a um breve desaparecimento como objetos de estudo pela maioria dos estudiosos. Fato controverso dado que os avanços em química foram consideravelmente maiores a partir de 1900 do que em todos os séculos anteriores juntos (PETER, 2011).

A retomada do estudo da história da química se deu alguns anos depois com abordagens referentes à radioatividade, Bioquímica, química de Coordenação e óptica. Porém, a quantidade de artigos produzidos em relação à história da química moderna foi deveras inferior aos artigos produzidos em outras áreas da química e, quando feitos, se mostravam diferentes na abordagem e interpretação, mesmo com conclusões similares (PETER, 2011).

Assim, entende-se que a química atual sofreu com a maior negligência em relação à sua história do que todo o restante de sua história, servindo apenas de base conceitual para o nascimento de diversas áreas do conhecimento que vieram em seguida, como na ciência dos materiais, protagonizado pelos polímeros a espectroscopia, na ressonância magnética nuclear aplicada à química orgânica e na nanotecnologia (PETER, 2011).

Essa situação apresentada muito se deve à falta de uma audiência ou demanda para o assunto da história da química atual e mesmo quando o tem, existe uma falta de qualificação por parte dos pesquisadores no método historiográfico ou em jovens pesquisadores na compreensão total do assunto abordado em química para retratá-lo como história. Além disso, o escopo de história da química, sendo considerado tema secundário, torna dificultoso o financiamento pelas universidades de mais pesquisas e na formação de novos pesquisadores atuantes da área (PETER, 2011).

5 ANÁLISE CONCEITUAL DA IMPLEMENTAÇÃO DA QUÍMICA NO ENSINO BRASILEIRO E A METODOLOGIA APLICADA

5.1 contextualização

Como visto no capítulo anterior, ocorreu uma expressiva evolução científica na química, sobretudo quando van't Hoff esforçou-se para representar as moléculas fisicamente em escala ampliada. Desde então os modelos foram, e estão sendo, de fundamental importância para o estudo da Geometria Molecular, constituindo a base para estudos mais aprofundados (SILVA; FONSECA; FREITAS, 2018).

No Brasil, as formas gráficas de representação estrutural vêm sendo abordadas no ensino médio e no ensino superior de química, por ser necessário que os discentes tenham conhecimento e compreendam estes signos para dominarem a linguagem química.

Santos (2017) destaca que a química não é direcionada somente pela experimentação (coleta e interpretação de dados), uma vez que os alunos precisam compreender que os químicos modelam a estrutura e função da matéria. Por conta dessa necessidade, os livros didáticos, por exemplo, são muito mais que simples instrumentos de leitura, já que possuem uma função que os diferencia dos demais: a formação de cidadãos críticos e reflexivos, com o potencial de opinar, de investigar, de formular hipóteses, de deduzir dados e elaborar conclusões. Similar à como foi feito para a elucidação das estruturas moleculares.

O livro didático consiste em um recurso pedagógico de grande relevância no processo educacional, sendo o principal, e muitas vezes, o único referencial para a prática docente (ROCHA; FARIAS, 2020). Pode-se constatar que o livro didático

assume ou pode assumir funções diferentes, dependendo das condições, do lugar e do momento em que é produzido e utilizado nas diferentes situações escolares. Para tanto, pode-se entender o livro didático enquanto produto cultural; como mercadoria ligada ao mundo editorial e dentro da lógica de mercado capitalista; como suporte de conhecimentos e de métodos de ensino das diversas disciplinas e matérias escolares; e, ainda, como veículo de valores, ideológicos ou culturais. (DOMINGUINI, 2010). Dessa forma, é possível verificar o livro didático como um meio de reproduzir valores de uma sociedade, bem como o introdutor de novos valores.

No presente capítulo, a princípio, será descrita a estruturação do ensino de química no Brasil, abordando o modelo de ensino tecnicista como a base, tecendo uma crítica em relação a esse modelo relacionando-o com um momento histórico e suas consequências para com a construção do conhecimento.

5.2 ESTRUTURAÇÃO DO ENSINO DE QUÍMICA NO BRASIL

A historiografia revela que até o final do Século XVIII, embora existisse uma grande demanda por mão de obra para a manutenção de atividades que necessitavam de especialistas no Brasil Colônia, não houve interesse por parte de Portugal para incentivar a pesquisa e promover formação de cursos, e muito menos a construção da disciplina de química, uma vez que os profissionais eram formados e trazidos da Europa. Todavia, no início do Século XIX a França invadiu Portugal, em virtude do rápido avanço das tropas de Napoleão Bonaparte, o rei português D. João VI foi forçado a transferir a sede do governo do país para as terras brasileiras, em uma tentativa de fuga (CHASSOT, 1996).

Com a chegada da família real no Brasil Colônia, inicia-se a construção de escolas e colégios para o oferecimento de educação formal à elite que se formava na época. Assim, funda-se o Colégio Médico-Cirúrgico da Bahia, em Salvador, no ano de 1808, e na sequência outros colégios de Medicina são criados por toda a colônia brasileira, representando, assim, o marco dos estudos mais específicos nas áreas de ciências no Brasil (ROSA; TOSTA, 2005).

A presença do império português proporcionou uma série de benefícios para a colônia do Brasil, destacando-se a criação da cadeira de química nos cursos de engenharia da Academia Real Militar, reconhecida como precursora da atual Academia Militar das Agulhas Negras, no Rio de Janeiro. Com isso, fomenta-se a

formação de profissionais e incentiva muitas pessoas a continuarem com pesquisas nessa área. (FILGUEIRAS, 1988).

Não há um consenso quanto ao início da adoção de química como disciplina nas instituições ou grupos de ensino, havendo indícios de seu início com a reforma pombalina de 1772 (reforma da Universidade de Coimbra) e a introdução do ensino da filosofia natural, hoje compreendida pelo ensino das ciências. Dentro dessa reforma, foi adicionada a disciplina de química no terceiro ano do curso de filosofia que, futuramente, levou ao ensino de filosofia natural no Seminário de Olinda, com a adição da respectiva “cadeira” (ALMEIDA; MAGALHÃES; CÂMARA; SILVA, 2008).

Com o passar do tempo, a incorporação do ensino de química no Brasil passou a ser de interesse do imperador D. Pedro II que, no decorrer do seu governo regencial, no período de 1831 a 1889 (ano da Proclamação da República), ocorreu um grande incremento no ensino de ciências biológicas e da terra, particularmente nas áreas de química e biologia, devido ao seu entusiasmo por ciências naturais (FILGUEIRAS, 1990).

A fundação do Colégio Dom Pedro II, no ano de 1837, representou o início da educação científica no ensino estatal, inclusive com o ensino de química, no ensino secundário do Brasil. Assim sendo, tem-se a padronização do que seria um sistema de educação prematuro por meio da elaboração de modelos de ensino que pudessem ser seguidos por outras instituições educacionais, gerando, assim, a necessidade da formulação de disciplinas científicas para serem incorporadas no currículo básico, visando atender as demandas requeridas por este nível educacional (ROSA; TOSTA, 2005).

Embora tenham ocorridos alguns avanços com esse processo, o ensino das ciências naturais no final do período imperial ainda não era prestigiado, tendo em vista a sua associação com a massa braçal do país, não sendo, portanto, atraente para os estudiosos e docentes, o que impediu o desenvolvimento de suas metodologias de ensino restringindo-as, praticamente, a memorização e descrição superficial de fenômenos de utilidade prática, sem que houvesse contextualização com a vida do aluno (LOPES, 1998).

A disciplina de química torna-se obrigatória para o ingresso nas instituições de ensino superior no Brasil somente no ano de 1887, ou seja, quase cem anos após a introdução desta ciência no país (CHASSOT, 1996) e cinco anos antes do congresso de Geneva (1892). Com o advento da República, em 1889, passaram três décadas

até que ocorresse a criação de institutos, nos quais a química foi disponibilizada como curso superior de ensino. Assim, em fins de 1919, foram criados oito cursos de química Industrial, anexos a instituições técnicas já existentes, às escolas politécnicas ou de engenharia do Rio de Janeiro, Ouro Preto, Belo Horizonte, Porto Alegre, São Paulo, Bahia, Pernambuco e no Museu Comercial de Belém, culminando na criação do curso de química industrial e agrícola em 1920. (MASSENA; SANTOS, 2009).

Até 1930, os livros didáticos caracterizam-se como compêndios de química Geral, em conformidade com a estrutura do ensino secundário da época. No geral, as implicações filosóficas dos conceitos eram discutidas. Posteriormente, os livros didáticos, em virtude da Reforma Francisco Campos, passaram a ser organizados por série. Com isso, ocorreu a inserção de uma maior quantidade de ilustrações e esquemas, para mostrar os modelos de estrutura atômica e estrutura molecular. Também se realizou a atualização nas unidades referentes a estrutura atômica, teoria de valência e classificação periódica (PARISI, 2021).

A Reforma Educacional Francisco Campos, no ano de 1931, tornou obrigatória a disciplina de química para as turmas do ensino secundário (atual Ensino Médio). As diretrizes da época, determinavam um ensino simplista com o intuito de auxiliar o aluno a compreender conhecimentos específicos, ou seja, de certo modo, visava despertar a atenção pela ciência em uma possível tentativa de tornar suas relações com o cotidiano mais explícita e natural (MACEDO; LOPES, 2002).

Tais diretrizes no ensino de química foram perdendo o sentido conforme a educação e a própria sociedade modificaram-se no decorrer das décadas, culminando na educação tecnicista, à luz do positivismo, proposta pelas reformas educacionais do governo militar. Nesse momento político-econômico, a Lei Nº 5.692, de 11 de agosto de 1971 procurou atribuir um caráter à educação essencialmente técnico, em detrimento de uma educação científica, propondo metodologias que privilegiam o aspecto repetitivo em detrimento do aspecto compreensivo da disciplina. Trata-se do denominado ensino tradicional (transmissão-recepção), no qual os conteúdos dos livros são repassados para os alunos de forma mecânica e abstrata. Entretanto, com a redemocratização do país e a aprovação da nova Lei Nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, o interesse no ensino de química deixa de ser exclusivamente técnico ou mnemônico, buscando contemplar diversas metodologias (LEME, 2019).

Com o fim do governo militar, foi possível pensar em introduzir novas metodologias para o ensino de química na educação básica no ensino básico, como disciplina importante da área de Ciências Naturais, que estuda a composição da matéria, sua estrutura, propriedades e transformações, com uma abordagem diferente. Assim, nos variados documentos norteadores e responsáveis pela organização escolar brasileira, como, por exemplo, os Parâmetros Curriculares do Ensino Médio (PCNEM) em 1999, as orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, em 2002, e as próprias Diretrizes Curriculares Nacionais para a educação básica, incentivam o emprego de multimeios para o aprendizado das disciplinas curriculares (VIANNA, 2020).

Assim, as orientações curriculares nacionais para o ensino médio mencionam algumas habilidades que os alunos devem desenvolver no processo de ensino e aprendizagem das ciências da natureza, como a química: comunicar e representar; investigar e compreender; contextualizar social ou historicamente os conhecimentos (BRASIL, 2006). Isso se mostra contraditório, pois por mais que seja dado o fomento ao ensino que quebre com os paradigmas do tecnicismo, isso não é bem aplicado mesmo atualmente em que grande parte dos professores persistem no modelo tecnicista de ensino em química (VIANNA, 2020).

Nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio enfatiza-se a importância do ensino de química voltado ao cotidiano do aluno, ao apresentar a seguinte proposta:

...pretende que o aluno reconheça e compreenda, de forma integrada e significativa, as transformações químicas que ocorrem nos processos naturais e tecnológicos em diferentes contextos, encontrados na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera, e suas relações com os sistemas produtivo, industrial e agrícola (BRASIL, 2002, p. 02).

As competências e habilidades apresentadas nos documentos oficiais, inclusive no mais atual deles, a base nacional comum curricular (BNCC), que foi lançada no ano de 2018, procuram ser trabalhadas na área de ciências da natureza de modo que contextualiza a história da ciência, com o intuito de proporcionar a alfabetização científica. O que se propõe é a conciliação da história e filosofia com a química, a fim de facilitar a compreensão da construção de conceitos tão importantes que são as bases para o conhecimento de ciências naturais do ensino médio. Isso pois, no processo de ensino de química existe uma grande quantidade de conteúdos e

conceitos estruturantes que poderiam ser analisados quanto aos aspectos históricos e filosóficos abordados em sala de aula (SANTOS, 2017).

O ensino vem passando por uma série de mudanças, permitindo visualizar o efeito de transição entre o modelo tradicional para outras tendências em virtude de a prática educacional estar diretamente associada aos processos de desenvolvimento econômico, científico, tecnológico, político e social. Nesse sentido, são reconhecidas as alterações observadas nas relações de trabalho que, juntamente com as inovações tecnológicas, impõem novas exigências quanto ao perfil dos docentes (MARQUES; FRAGUAS, 2021).

Isso implica em uma rejeição parcial à abordagem tradicional de ensino, na qual se transmite o conhecimento através de métodos rígidos e mecânicos, tendo como resultado uma relação vertical entre docente e discente, não sendo assim proporcionadas condições de estabelecer uma relação com o ambiente em que o discente está inserido e não buscando o desenvolvimento do senso crítico e analítico. Trata-se, portanto, de um ensino sem significado social e não muito influente para a formação da capacidade intelectual e para formação do pensamento reflexivo, por não buscar o desenvolvimento do raciocínio, uma vez que se encontra reduzido à prática de repetição e memorização (MARQUES; FRAGUAS, 2021).

Com isso, alguns conteúdos trabalhados na escola, principalmente no ensino médio, não possuem sentido na percepção dos alunos. Especificamente na disciplina de química são observadas dificuldades em relacionar o conteúdo com situações cotidianas, por ser privilegiada a excessiva memorização de fórmulas, nomes e tabelas. Por conta desta realidade para muitas escolas, reconhece-se que o processo de ensino-aprendizagem poderia proporcionar uma conexão entre o conteúdo abordado em sala de aula com o dia a dia, por facilitar a compreensão do mundo, sendo necessárias estratégias como, por exemplo, o ensino contextualizado para uma aprendizagem diferenciada (OLIVEIRA; BERNARDO; NOGUEIRA, 2020).

Há um consenso que o educador deve se dedicar ao ensino com qualidade, com o intuito de influenciar o aluno da melhor forma possível para a aquisição constante de conhecimento (LIBÂNEO, 2009). De acordo com os ideais da Escola Nova, almeja-se o oferecimento de um ambiente de ensino que promova autonomia e o engajamento do estudante pelo seu processo de aprendizagem, tornando-o centro ativo das atividades educativas e atuando no sentido do desenvolvimento de suas capacidades cognitivas e emocionais. Almeja-se, portanto, a formação humana

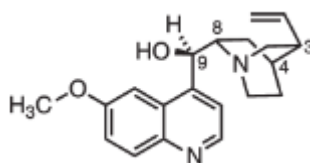
integral de sujeitos autônomos com as habilidades de pensar, refletir, resolver problemas e a criar nos variados aspectos da vida atual (COLTURATO, 2021).

6. A SÍNTESE DO QUININO COMO EXEMPLO

Este exemplo está baseado no trabalho publicado por Souza e Porto (2011). Os autores destacam a importância e a influência dos professores na formação dos alunos da área das ciências exatas, bem como o ensino da química de forma contextualizada sob os aspectos sociais, políticos e econômicos. A metodologia aplicada por Souza e Porto para evidenciar a importância do uso dessas ferramentas didáticas foi traçar um paralelo com a síntese do quinino, cuja aplicação no tratamento da malária que, por conta disso, tornou-se objeto de interesse de diversos pesquisadores e países desde essa descoberta. Além disso, na tentativa de sua síntese, ocorreu de forma inesperada a síntese da Mauveína, o primeiro corante orgânico sintético, que impulsionou o nascimento da indústria química.

O quinino é o alcaloide (aminas cíclicas que contém anéis heterocíclicos de Nitrogênio), cuja fórmula molecular é $C_{20}H_{24}N_2O_2$, apresentando em sua estrutura anéis quinolina e quinuclidina e apresenta quatro centros assimétricos, o que permite a existência de 16 isômeros. mostrando-se como uma molécula bastante complexa, cuja representação pode ser observada na figura 13.

Figura 13 - Fórmula estrutural do quinino

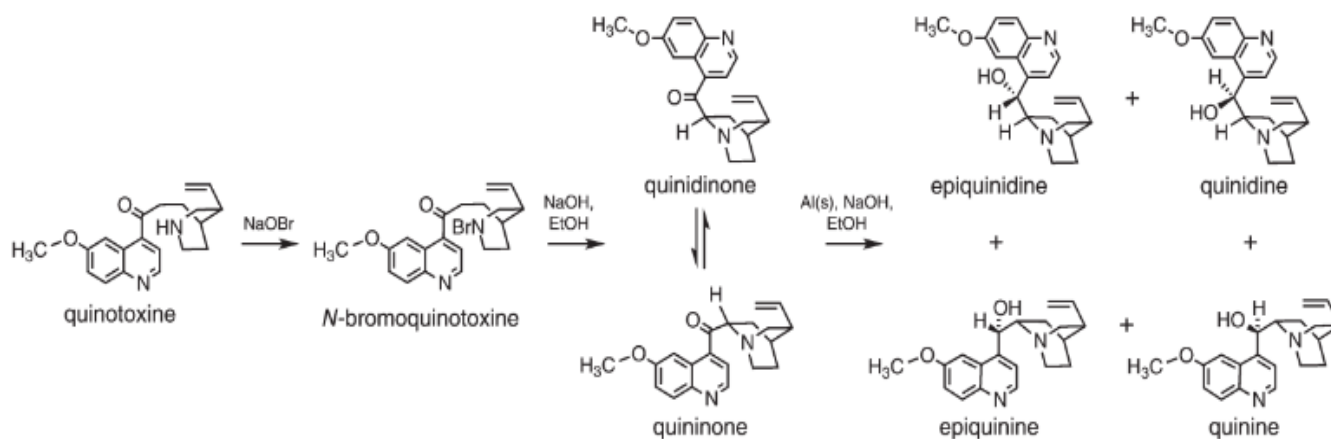


Fonte: Souza e Porto, 2011.

Dada a necessidade de síntese do quinino em larga escala, muitas rotas sintéticas foram propostas ao longo de sua história. Podem-se citar Paul Rabe e Karl Kinder que, em 1918, anunciaram a primeira síntese parcial do quinino, baseado na reconversão da quinotoxina para quinino a partir da bromação com hipobromito de sódio, convertendo a quinotoxina para N-bromoquinotoxina, para posterior ciclização em etanol e soda cáustica, tendo a formação de quininona e quinidinona. Estes

compostos são reduzidos com alumínio elementar para quatro isômeros de álcoois que foram separados por recristalização, como demonstra a figura 14.

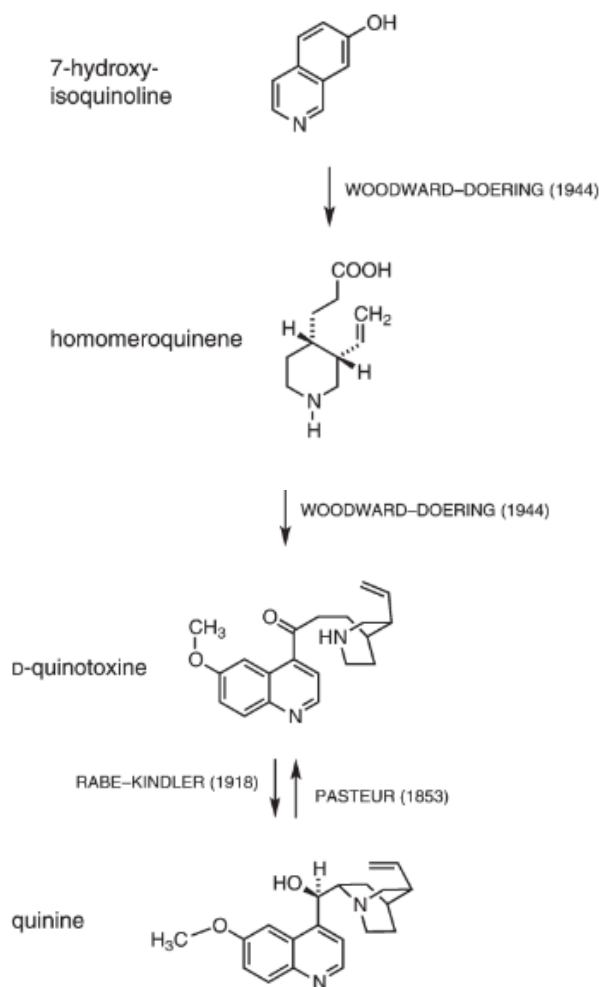
Figura 14 - Síntese do quinino a partir da quinotoxina



Fonte: Souza, Porto, 2011

Mesmo com a aparente síntese do quinino, ele não se apresentou reproduzível em larga escala, pois a rota proposta por Robe e Kinder não apresentou detalhes suficientes para uma total compreensão do método, muito se devendo à metodologia de caracterização que se baseia na medição do ponto de fusão e desvio óptico. Foi somente em 1944, que Robert B. Woodward e William von E. Doering, contratados pela empresa multinacional, Polaroid Corp., obtiveram sucesso na síntese total do quinino. A rota proposta baseou-se na rota previamente proposta por Robe e Kinder, síntese do quinino a partir da D-quinotoxina, tendo como precursores a 7-hidroxi-isoquinolina, extraída da cinchonina, uma planta oriunda da América do Sul, convertida para homomeroquinino e então convertendo-o para D-quinotoxina., como mostra a figura 15.

Figura 15 - Síntese por Woodward-Doering



Fonte: Souza e Porto, 2011

Em 2001, 55 anos após Woodward e Doering terem proposto a rota total da síntese do quinino, Gilbert Storks fez um estudo em relação a estereosseletividade do composto, pois ele apresentava rendimento muito baixo, o que tornava seu custo de produção alto e oferta limitada conforme a demanda. Storks reforçou que a necessidade global por quinino, somado ao período de guerras, o que atribuiu urgência à pesquisa, colaboraram para um “entusiasmo sem viés analítico” para o caso. Embora Storks não tenha tentado reproduzir o que foi feito pelos seus antecessores. Dada essa controvérsia, Smith e Williams, estudantes da Universidade do Colorado, em 2005, decidiram por revisitar os estudos de Rabe e Kindler a partir de uma reação S_N2 no C3 e C4 que, a partir do RMN, observou-se apenas traços de quinino, muito diferente do rendimento de 12% registrado na época. Após vários estudos, a semi-síntese do quinino fora validada por Smith,

mesmo na ausência de informações como a pureza do alumínio III utilizado (SOUZA; PORTO, 2011).

Após esse resumo da história da síntese do quinino, é possível observar como as questões político-sociais e o desenvolvimento da tecnologia podem influenciar diretamente nos processos de validação dos resultados obtidos na síntese química. Pois, neste caso, com poucos recursos de caracterização e a pressão dada por uma alta demanda global podem resultar na aceitação sem muito critério que, a posteriori, em um momento de maior calma e com maior acervo de instrumentos de caracterização, por exemplo, podem levar à baila resultados anteriormente tidos como inquestionáveis.

Evidentemente, deve-se dar o mérito de Robe-Kindler e Woodward-Doering na tentativa de síntese do quinino, pois se tratava de um período de guerra e alta demanda pelo produto. Assim, mesmo com as críticas de Gilbert Storks, confirmadas por Williams e Smith, a síntese do quinino foi alcançada e os conceitos de estereosseletividade garantiram novos questionamentos e a demanda por aperfeiçoamento das técnicas criadas no passado (SOUZA; PORTO, 2011).

7. CONCLUSÕES

O início de meios modernos para a elucidação da estrutura atômico-molecular teve seu estopim com Lavoisier através da determinação da Lei do Balanço de Massas (SILVA; FONSECA; FREITAS, 2018) no final do séc. XVIII. Posteriormente, o modelo atômico de Dalton e a determinação das massas atômicas de muitos elementos, bem como a criação de uma notação química racional por Berzelius (COSTA, 2010) deram impulso a uma sistematização do conhecimento químico no séc. XIX. Durante grande parte do séc. XIX se avolumaram a síntese de novas substâncias inorgânicas e orgânicas, criando uma dificuldade crescente em se definir melhor o que seriam, elementos, substâncias, estruturas atômicas e moleculares.

Assim, a necessidade de se normatizar uma série de conceitos, que foram impulsionados pela consolidação da teoria estrutural da química sintética (GRANDO; KALINKE; CLEOPHAS, 2022), levaram ao ambiente que culminou com a realização do primeiro congresso internacional da química em Karlsruhe. Capitanado por Cannizzaro, Kekulé, dentre outros, o evento resultou na determinação de uma

terminologia em comum, que levassem uma ordem epistemológica à química (KAUFMANN, 2010). Após esse período, foi possível estabelecer a nomenclatura de compostos orgânicos no congresso de Gênova, inspirado no sucesso do seu antecessor, o congresso de Karlsruhe (HEPLER-SMITH, 2015).

Verificamos que as metodologias de ensino em química pouco utilizam desse conteúdo, iniciando de uma visão simplista do modelo de Dalton, passando para modelos que já apresentam prótons, elétrons e nêutrons, que só foram pensados muito posteriormente ao átomo de Dalton. A presença de um contexto e de uma cronologia mais detalhada é essencial para verificar os movimentos de idas e vindas na construção de consensos e modelos na Química (MACEDO; LOPES, 2002).

Desde fins do séc. XIX a doutrina de ensino adotada na maioria das escolas no Brasil é notadamente positivista que, em linhas gerais, é feita uma abordagem mais técnica das contingências sociais, políticas e econômicas. Evidentemente, essa abordagem é muito conveniente em um país onde as elites dominantes sempre pensaram a educação de massas como meio para melhorar a mão de obra e os poderes constituídos sempre flertaram com ditaduras e regimes fascistas. Essa abordagem teve seu ápice na ditadura militar de 1964-1985 (LEME, 2019).

O significado social é fundamental para a formação da capacidade intelectual e do pensamento reflexivo, diferente do foco estabelecido no regime militar com um viés tecnicista que, apesar de possuir seus méritos em sua abordagem, se encontra reduzido à prática de repetição e memorização no contexto de ensino de química. Assim, o momento histórico se mostra de suma importância para o entendimento de como se foi pensado o modelo de ensino de química, especialmente se tratando do governo militar, com a Lei Nº 5.692, de 11 de agosto de 1971, como apresentado, cuja essência se manifesta na Ordem e no Progresso, não abrindo margem para o pensamento crítico-reflexivo (LEME, 2019).

Como exemplo para tentar fundamentar a ideia de que o momento histórico influencia na ciência e no aprendizado, foi apresentada a história da síntese do quinino para combate à Malária em um contexto de guerra. Destacando a importância e influência dos professores na formação dos alunos da área das ciências exatas, que é preponderantemente inflexível, elitista, dogmática e acumulativa (SOUZA; PORTO, 2011), semelhante ao método positivista-militar.

Para cada rota sintética do quinino postulada, uma demanda social ou político-militar culminou na aceleração do processo de entrega de uma fórmula e na

falta de informações necessárias para sua reprodutibilidade. Dessa forma, conforme houve avanços na tecnologia e nos métodos de caracterização, foi possível verificar que, por exemplo, a rota de Paul Rabe e Karl Kinder (1918) cuja eficiência na síntese do quinino foi de 12% na verdade não passavam de traços de quinino, como confirmado em 2005 por Smith e Williams. Pois a urgência e um período conturbado causaram como resultado uma síntese falha, embora o método não estivesse errado em sua essência, como levantado, também, por Smith e Williams (SOUZA; PORTO, 2011).

Assim posto, deve-se pensar em criar cidadãos críticos e analíticos para que as situações adversas que possam levar a falácias científicas como a relatada na síntese do quinino passem a ocorrer com menor frequência. Para isso, a importância da proposição de novas metodologias de ensino que rompam as correntes com o modelo tecnicista aplicado nas ciências exatas é de suma importância, fato que já é entendido pela Escola Nova (LIBÂNEO, 2009), mas ainda mal aplicado, pois, no que tange à elucidação das estruturas moleculares, a introdução continua sendo com o átomo de Dalton.

Explicar a história da química dando a devida atenção ao processo de construção do conhecimento científico traz consigo o entendimento de que é um processo longo e que exige sempre senso crítico e questionamento. Dessa forma, tornar a base da educação dessa ciência algo técnico e baseado na assimilação de conteúdo resultará na formação de cidadãos e, em maior grau, Bacharéis, com pouca noção dos desafios de seus antecessores na construção do conhecimento científico. Por isso, o ensino de estruturas moleculares nas escolas e cursos de graduação deve ser melhor pensado quanto à abordagem para que situações como a história da síntese do quinino, ocorram cada vez menos.

8. PERSPECTIVAS FUTURAS

Estudar metodologias de ensino que possibilitem novas maneiras de abordar o ensino de estruturas moleculares nas escolas e cursos de graduação, sempre com foco na construção de senso crítico e analítico para com os novos estudantes.

9. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, A. V. D.; MAGALHÃES F. O. CÂMARA C. A. G.; SILVA J. A. A. Pressupostos do ensino da Filosofia Natural no Seminário de Olinda (1800-1817) . Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, [s. l.], v. 7, n. 2, 2008.

BRASIL. Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Brasília, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2023.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. 2002. Disponível em: <portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2023.

CAMEL, T. D. O.; KOEHLER, C. B. G.; FILGUEIRAS, C. A. L. A química orgânica na consolidação dos conceitos de átomo e molécula. Química Nova, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 543-553, 15 dez. 2008.

CHASSOT, A.I. Uma história da educação química brasileira: sobre seu início discutível apenas a partir dos conquistadores. Episteme, Porto Alegre. v. 1, n. 2, p. 129-146, 1996.

COLTURATO, A.R. O cotidiano na Educação em Química: uma análise bibliográfica a partir da pedagogia histórico-crítica. 2021. 169f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru, 2021.

COSTA, M. M. F. Q. M. DA. As virtudes cognitivas dos modelos 3D no desenvolvimento da Química: um estudo de caso - Van't Hoff e a estereoquímica. [s.l: s.n.]. Dissertação (mestrado) - Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências. 2010

CHAMIZO, J. A. A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. Science & education, v. 22, n. 7, p. 1613–1632, 2013.

DOMINGUINI, L. fatores que evidenciam a necessidade de debates sobre o livro didático. Congresso Internacional de Filosofia e Educação: V CINFE, Caxias do Sul - RS - Brazil, mai. 2010 2177-644X.

FILGUEIRAS, C.A.L. Dom Pedro II e a Química. Rev. Química Nova, Departamento de Química. ICEX. UFMG. 31.270. Belo Horizonte (MG) v. 11, n. 2, p. 210- 214, 1988.

FILGUEIRAS, C.A.L. Origens da ciência no Brasil. Rev. Química Nova, Departamento de Química. ICEX. UFMG. 31.270. Belo Horizonte (MG) v. 13, n. 3, p. 222-229, 1990.

GRANDO, J.W.; KALINKE, M.A.; CLEOPHAS, M.G. A construção do ensino da Geometria Molecular: um panorama histórico-educacional da Química no Brasil. Brazilian Journal Education Technology Society, v. 15, n. 1, p. 34-45, 2022.

HEPLER-SMITH, E. "just as the structural formula does": Names, diagrams, and the structure of organic chemistry at the 1892 Geneva nomenclature congress. Ambix, v. 62, n. 1, p. 1–28, 2015.

HOFFMANN, R. W. Classical Methods in Structure Elucidation of Natural Products. 1 ed. Germany: Wiley-VHCA, v. 1, 2018. ISBN: 978-3-906390-73-4.

SOUZA Ap. F. D. K.; PORTO A. P. History and Epistemology of Science in the Classroom: The Synthesis of Quinine as a Proposal. Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ), IQUSP, Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Brazil. 2011.

KAUFMANN* G. B., Jean-Pierre A. The 150th Anniversary of the First International Congress of Chemists, Karlsruhe, Germany, September 3–5, 1860. Department of Chemistry, California State University, Fresno. hem-Educator. 2010.

LEME R. B.; BRABO T. S. A. M. Formação de professores: currículo mínimo e política educacional da ditadura civil-militar (1964-1985). ORG & DEMO, Marília, v. 20, n. 1, p. 83-98, jan./jun., 2019.

LIBÂNEO, J.C. Sistema de ensino, escola, sala de aula: onde se produz a qualidade das aprendizagens? In: LOPES, A.C.; MACEDO, E. Políticas de currículo em múltiplos contextos. São Paulo: Cortez, 2009. p. 70-125.

MACEDO, E.; LOPES, A.R.C. A estabilidade do currículo disciplinar: o caso das ciências. In: LOPES, A.C.; MACEDO, E. Disciplinas e integração curricular: história e políticas. Rio de Janeiro: DP&A, 2002. P. 73-94.

MARQUES, R.; FRAGUAS, T. A formação do senso crítico no processo de ensino e aprendizagem como forma de superação do senso comum. Research Society Development, v. 10, n. 7, p. 1-14, 2021.

MASSENA, E. P.; SANTOS, N. P. DOS. O Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, da pós-graduação à incorporação dos cursos de graduação: uma perspectiva histórica. Química nova, v. 32, n. 8, p. 2238–2248, 2009.

MARTINS, R. A. Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. Pp. xxi-xxxiv, in: SILVA, C. C. (ed.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MEDEIROS L. I. AS CONTRIBUIÇÕES DE ROBERT BOYLE À QUÍMICA FACE A UMA VISÃO INTERDISCIPLINAR COM A GEOGRAFIA. HOLOS, 1, 112–119. 2017.

MELZER, E.E.M.; AIRES, J.A. A História do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. Amazônia Rev. Educação Ciências Matemática, v. 11, n. 22, p. 62-77, 2015.

MULLINS J.J. Six pillars of organic chemistry. Department of Chemistry and physics, Le Moyne College, Syracuse. Publicado em Journal of Chemical education. Janeiro 2008.

OLIVEIRA, A. de J. Sarton e Kuhn: o papel de Robert Boyle na química do século XVII. Princípios: Revista de Filosofia (UFRN), [S. l.], v. 22, n. 39, p. 163–191, 2016.

OLIVEIRA, L. S. Passado, presente e futuro do ensino de química no Brasil: um ensaio acadêmico. 2017. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Química) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências, 2017.

OLIVEIRA, C.M. BERNARDO, A.M.G.; NOGUEIRA, N.O. Aprendizagem significativa no ensino de biologia do Ensino Médio. Rev. Científica Multidisciplinar Núcleo Conhecimento, v. 2, n. 5, p. p. 129-152, 2020.

OKI, M.C.M.; MORADILLO, E.F. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. Ciência & Educação, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

PARISI, S.R. Contribuições da História da Ciência para o ensino de Química: o modelo científico da geometria molecular e o currículo. 2021. 130f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, História da Ciência, São Paulo, 2021.

PETER J. T. M. The Fall and Rise of the History of Recent Chemistry. Science Museum, London, UK. AMBIX, Vol. 58 N° 3, November, 2011, 238-56.

RAUPP, D.T. História e contextualização no ensino de estereoquímica: uma proposta de abordagem para o ensino médio. Editora Unijuí, v. 35, n. 112, p. 432-455, 2020.

ROCHA, C.J.T.; FARIAS, S.A. A importância do livro didático na integralização de aulas de química em escola pública. EDUCA Rev. Multidisciplinar Educação, v. 07, p. 1547-1560, 2020.

ROCKE, A. J. The reception of chemical atomism in Germany. *Isis: an international review devoted to the history of science and its cultural influences*, v. 70, n. 4, p. 519–536, 1979.

ROCKE, A. J. Kekulé, butlerov, and the historiography of the theory of chemical structure. *British journal for the history of science*, v. 14, n. 1, p. 27–57, 1981.

ROSA, M.I.P.; TOSTA, A.H. O lugar da Química na escola: movimentos constitutivos da disciplina no cotidiano escolar. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p. 253-263, 2005.

SANTOS, A.F. Lavoisier nos livros didáticos: uma Análise à Luz da História da Ciência. Mestrado em História Da Ciência. 2015. 105f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, História da Ciência, São Paulo, 2015.

SANTOS, J.M. Uma revisão sistemática: ligação química no ensino médio sob a óptica da história da ciência. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Salvador, 2017.

SILVA, K.S.; FONSECA, L.S.; FREITAS, J.D. Uma Breve História da Geometria Molecular sob a Perspectiva Didático-Epistemológica de Guy Brosseau. *Rev. Acta Scientiae*, v. 20, n. 4, p. 626-647, 2018.

VIANNA, N. S.; RITTER, J. O CURRÍCULO DE QUÍMICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: CONCEPÇÕES E PRÁTICAS DE PROFESSORES. *Revista Contexto & Educação*, v. 35, n. 110, p. 202–225, 2020.