

A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA LINGUAGEM REPRESENTACIONAL QUÍMICA: UMA INTERPRETAÇÃO BASEADA NA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS.

THE HISTORICAL EVOLUTION OF CHEMISTRY REPRESENTATIONAL LANGUAGE: AN INTERPRETATION BASED ON THE CONCEPTUAL FIELD THEORY.

Agostinho Serrano de Andrade Neto¹
Daniele Raupp², Marco Antonio Moreira³

¹ ULBRA/PPGECIM, asandraden@gmail.com

² ULBRA/PPGECIM, dtraupp@gmail.com

³ UFRGS/IF, Moreira@if.ufrgs.br

Resumo

Fazendo uso da Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud, é realizada uma análise da evolução histórica de conceitos e representações de compostos químicos, partindo da contribuição de alquimistas e artesões; seguindo para a reforma de nomenclatura proposta por Lavoisier; a introdução dos símbolos químicos por Berzelius; das ligações por Couper; e finalmente a incorporação de informação estrutural geométrica por Werner e Smith. Em seguida, é analisada a contribuição das representações tridimensionais geradas por computador. Durante toda a discussão, é interpretado cada desdobramento em particular como uma reconstrução representacional devido à incorporação de conceitos necessários à compreensão do que é um composto químico. Com a introdução de elementos operacionais às representações já por Berzelius, as representações externas absorveram parte da carga cognitiva necessária ao raciocínio químico, permitindo o desenvolvimento de invariantes operatórios mais otimizados. Assim evolui a química, sendo capaz de resolver situações-problema cada vez mais complexos.

Palavras-chave: História da Química, Linguagem Química, Representações Químicas, Teoria dos Campos Conceituais, Carga Cognitiva

Abstract

Using the theory of Conceptual Fields of Gerard Vergnaud, it is performed an analysis of the historical evolution of concepts and representations of chemical compounds, from the contribution of alchemists and artisans; to the reform in chemical nomenclature proposed by Lavoisier; the introduction of chemical symbols by Berzelius; the chemical bonding by Couper; and finally the incorporation of geometric structural information by Werner and smith. Following, it is analyzed the contribution of tridimensional representations generated by computer. During all discussion, each unfolding is viewed as a representation reconstruction due to the incorporation of new concepts needed to the understanding of what a 'chemical compound' is. With the introduction of operable elements to the representations already by Berzelius, the external representations absorbed part of the cognitive load needed to the chemical reasoning, allowing the development optimized operational invariants. Thereso how chemistry evolves, being capable of solving problems-situations each time more complex.

Keywords: History of Chemistry, Chemical Language, Chemical Representations, Theory of Conceptual Fields, Cognitive Load.

INTRODUÇÃO

A linguagem química é caracterizada por fazer uso de uma variedade de representações simbólicas – fórmulas, estruturas moleculares, modelos atômicos, reações químicas, etc. A utilização de representações como forma de expressão de conceitos e procedimentos químicos já era realizada pelos alquimistas e artesões. A

simbologia na linguagem alquímica foi inicialmente criada para tanto comunicar como para restringir a compreensão da linguagem aos iniciados garantindo seu caráter oculto, dentro da alquimia; ou para fazer uma relação sensória com a substância sendo trabalhada pelo artesão. Posteriormente, com surgimento da comunidade dos Químicos, a partir destas duas comunidades, estes, durante anos, procuraram formas de expandir essa linguagem. Como a criação desta linguagem foi realizada por diferentes comunidades científicas ao redor do mundo, com o passar do tempo, surgiu a necessidade de uma unificação na forma de expressão para que a comunicação entre os químicos fosse viável. Essa “uniformização” criou uma linguagem universal que é utilizada tanto entre os experts em química como em educação química. Segundo Habraken (2004, tradução nossa) “A evolução a partir dos primeiros desenhos primitivos para os desenhos gerados por computador é uma clara demonstração da evolução simultânea de uma ciência e sua linguagem científica.”

Tradicionalmente, autores como Vygotsky são utilizados para uma descrição da evolução sócio-histórica-cultural de um conceito e sua relação com um sistema simbólico em particular (linguagem, usualmente). De fato, isto já foi feito por Kozma e colaboradores (2000) onde o vínculo entre a representação de compostos químicos (e não necessariamente de conceitos) foi investigado historicamente, incluindo um estudo que foca na atividade experimental em síntese química e instrumentos de caracterização (espectrômetros, etc.). Os autores chegam a constatar a necessidade que a química tem, ao criar as representações, de operar com o que os autores chamam de “características superficiais da representação”. Contudo, acreditamos que o referencial de Campos Conceituais de Gerard Vergnaud pode elucidar esta evolução operatória das representações de forma mais clara. Este trabalho exploratório teórico apresenta de forma sucinta um panorama desta evolução, lida sob o ponto de vista do referencial de Campos Conceituais.

A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS (TCC)

Nosso referencial teórico tem seu foco especificamente em um dos conjuntos que formam o conceito: o conjunto das representações simbólicas. A Representação é o conjunto das formas de linguagem que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento.

O conceito de Conceito de Vergnaud (VERGNAUD, 1997) é composto por três conjuntos $C = (S, I, R)$ onde:

- S (*referente*) é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;
- I (*significado*) é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto;
- R (*significante*) é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) que podem ser usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas.

A linguagem química contém inúmeras representações e o tipo de representação utilizada para comunicar conceitos químicos pode interferir diretamente na compreensão dos estudantes. Em um artigo publicado em 1982, Vergnaud aborda esse assunto, enfatizando a importância da representação simbólica: “A representação simbólica não é apenas uma linguagem que permite a conceitualização, a representação simbólica deve representar o problema e deve ajudar os estudantes a resolver problemas que, sem o auxílio dessas representações não seria capaz de resolver”. (Vergnaud, 1982, tradução nossa). Vergnaud explica que, assim como há problemas mais facilmente resolvíveis do que outros, ou procedimentos mais fáceis do que outros haveria representações simbólicas mais potentes do que outras. Esta idéia é, para nós, a chave para se compreender a evolução das representações na Química, historicamente.

REPRESENTAÇÕES NA ALQUIMIA E DOS ARTESÕES

A utilização de representações na Química é tão antiga quando sua própria origem. Podemos encontrar sinais simbólicos como parte integrante dos documentos alquímicos gregos que datam do décimo terceiro ao décimo quinto século (OBRIST, 2003). Por motivo de segurança, os alquimistas utilizam uma linguagem enigmática para descrever suas teorias, materiais e operações (HOLMYARD, 1990). Por consequência disto a linguagem alquímica ao mesmo tempo em que precisava ser difundida entre os alquimistas, era restrita para manter seu caráter hermético. Para isso a Alquimia usou e abusou de signos e símbolos incompreensíveis para qualquer pessoa que não fosse iniciada. Essa linguagem foi criada pelos estudiosos da Alquimia, que associavam os materiais e cada fase de seus trabalhos, a imagens ou formas que lhe eram familiares, criando assim, verdadeiros códigos de interpretação.

Os sistemas de notação eram um tipo de taquigrafia talvez projetado mais para economizar tempo do que para confundir os não adeptos. Com exceção da representação dos sete metais (ouro, prata, cobre, ferro, mercúrio, chumbo e estanho) havia pouca uniformidade nos esquemas adotados pelos diferentes alquimistas. Na Figura 1 encontramos alguns dos sinais freqüentemente utilizados.

☉ gold [Sun]	♁ sulphur	⚗ sal ammoniac	1. Calcination	♈ Aries, the Ram
☾ silver [Moon]	⊕ salt	⤴ sublimation	2. Congelation	♉ Taurus, the Bull
♀ copper [Venus]	∇ water	☿ sublimate of mercury	3. Fixation	♊ Gemini, the Twins
♂ iron [Mars]	△ fire	♁ realgar	4. Solution	♋ Cancer, the Crab
☿ mercury	∇ aqua fortis	⊕ vitriol	5. Digestion	♌ Leo, the Lion
♄ lead [Saturn]	♁ earth	⊕ retort	6. Distillation	♍ Virgo, the Virgin
♃ tin [Jupiter]	♁ air	⊕ common salt	7. Sublimation	♎ Libra, the Scales
			8. Separation	♏ Scorpio, the Scorpion
			9. Ceration	♐ Sagittarius, the Archer
			10. Fermentation	♑ Capricornus, the Goat
			11. Multiplication	♒ Aquarius, the Water-carrier
			12. Projection	♓ Pisces, the Fishes

Figura 1. Representação alquímica de alguns materiais (esquerda) e operações (direita)

Os sinais dos metais (Figura 1, esquerda) estão associados aos sinais dos planetas devido a uma relação astrológica. Os símbolos do sol e da lua (ouro e prata, respectivamente) são meramente representacionais, os demais apresentam diversas abordagens para explicá-los. Além dos materiais algumas operações ou estágios de preparação também estavam associados aos signos (HOLMYARD, 1990). Em seu Dictionnaire Mytho-Hermétique, Thus Pernety apresenta essa correspondência que

podemos observar, na Figura 1 à direita, para as seguintes operações: calcinação, congelamento, fixação, digestão, destilação, sublimação, separação, ceração¹, fermentação, multiplicação e projeção.

No século XVII os chamados mecanicistas propuseram um novo modelo de mundo. Esse novo modelo teria suas bases na clareza e na mensurabilidade da máquina, contrariando os princípios da Alquimia considerados indefinidos e ocultos. Goldfarb (2001) enfatiza a mudança que ocorreu quanto às interpretações analógicas e simbólicas que apresentavam uma relação animística e mágica com a natureza. Essas interpretações cederam lugar para uma descrição analítica e específica do fenômeno em si: “O caráter holístico e místico da alquimia rompeu-se dando lugar interpretação quantitativa e mecanística do mundo e da matéria.” (tradução nossa). A simbologia, no entanto não deixou de ser utilizada. Em química, a representação tornou-se mais do que um simples desenho; tornou-se um modo de pensar e um dominante modo de pensar (HABRAKEN, 2004). Porém representações químicas passaram a ser utilizadas para demonstrar unicamente o conceito químico envolvido, sem uma possível interpretação dualista como ocorria na Alquimia.

Do ponto de vista da Teoria dos Campos Conceituais, a problemática central foi uma mudança pragmática onde o conjunto de situações-problema teve seu foco alterado. Durante o período alquímico, ocultar informação para leitura apenas dos iniciados era parte da situação-problema. Após este período, ocultar informações não era mais necessário, e o foco das situações-problema continha outros valores, como quantificação e clareza representacional. Dessa forma, ouve uma mudança em termos de conceitos e subsequentemente nas representações a eles associadas. Pode-se falar, portanto, que as representações dos compostos químicos sofreram uma *reconstrução, ou mudança representacional*.

Ao lado da representação alquímica, existia também a representação dos artesões ou fabricantes (o ferreiro, o tintureiro, o fazedor de vidros, o destilador, etc.) que freqüentemente nomeavam novas substâncias de acordo com características sensorialmente evidentes dos compostos (CROSSLAND, 1962, apud KOZMA, 2000). Estas representações também influenciaram o nascimento efetivo da química como ciência e foram incorporados à mesma. Estes artesões nomeavam as substâncias em geral baseado em qualidades físicas como cor, sabor, cheiro e consistência. A cor sendo a propriedade mais utilizada na nomenclatura, datando desde os egípcios que utilizavam palavras como “hetch” (branco) para prata e “vatch” (verde) para malaquita. Crossland especulava que o uso de cor e outras características eram importantes para artesões cujo conhecimento químico rudimentar era usado como auxílio na preparação de materiais essenciais ao seu negócio. Cor, por exemplo, era uma característica importante na produção de vidros, jóias e roupas. Assim, a representação da substância é realizada pragmaticamente. De acordo com Vergnaud: “A representação (conceitual) é uma economia pragmática do pensar que permite o sujeito focar sua atenção nos únicos

¹ “**ceração**” é realizada adicionando-se continuamente um líquido a substância enquanto aquecida. Isto tipicamente resulta em uma substância mais macia ao mesmo tempo em que dá a ela uma aparência encerada.

elementos que são, corretamente ou não, estimados a serem funcionais com respeito à ação” (VERGNAUD, 1999; PASTRÉ, 1997 apud PICHAT, 2001, tradução nossa)

A REFORMA DE LAVOISIER

Ao longo do tempo, com expansão da Química, a comunidade científica foi criando cada vez mais representações sem um consenso entre os químicos de diferentes países; fato anteriormente observado nos alquimistas que não apresentavam uma uniformidade na linguagem simbólica, como citado anteriormente, nem tampouco na comunidade dos artesões. Esta proliferação de representações tinha dois motivos básicos: em primeiro lugar, o número de compostos cresceu consideravelmente e, portanto, representações cujo vínculo era principalmente sensório (e em especial visual) já estavam atingindo seu limite de descrição de diferentes substâncias. Em segundo lugar, filosoficamente, este problema representacional na química ocorreu concomitantemente com a expansão do Iluminismo francês (ANDERSON, 1984 apud KOZMA, 2000). Lavoisier era muito influenciado por Etienne Bonnot Condillac. Para Condillac, “Análise é realizada e apenas pode ser realizada usando signos. Nós apenas raciocinamos bem ou raciocinamos mal na medida em que nossa linguagem é bem ou mal construída” (ANDERSON, 1984, pg. 162 e 171 apud KOZMA, 2000, tradução nossa). Assim, no livro *Méthode de Nomenclature Chimique*, publicado em 1787, a proposta era de que a nomenclatura química fosse (re-) construída a partir dos constituintes de um determinado composto. Dessa forma, a idéia central da construção desta nova representação era indicar como estes compostos são criados. Dentro de uma interpretação dentro da TCC, a situação-problema de nomear ou atribuir signos a diferentes compostos químicos foi resolvida utilizando-se a idéia de que os constituintes de cada composto deveriam ser a base da representação. Assim, a representação foi (re-) construída para expressar esta concepção. Com este passo, o foco representacional na química deixa de ser o nível macroscópico-sensório conforme descrito por Gabel (1993) e passa a ser o que hoje chamamos de nível simbólico, assim criado. Ao invés de focar no sensório, a química passa a focar no resultado da análise e síntese de cada substância.

As fórmulas químicas foram uma das representações que evoluíram ao longo da história. Segundo Mortimer (1996) a idéia de fórmula química surgiu como uma forma de expressar as quantidades das substâncias elementares que se combinam. As fórmulas químicas retratam através de sua simbologia a composição qualitativa e quantitativa das substâncias, são em resumo formas abreviadas de representar a composição das substâncias. A criação da simbologia para os elementos possibilitou a escrita dos compostos químicos numa forma simbólica simples, e finalmente deu a química uma linguagem universal, como a Matemática (STRATHERN, 2002).

AS REPRESENTAÇÕES SIMBÓLICAS DE BERZELIUS E COUPER

A criação da simbologia de Berzelius para os elementos possibilitou a criação da escrita dos compostos. O cloreto de sódio, por exemplo, poderia ser escrito como NaCl e para os casos onde se observa mais de um elemento, o número subscrito indicaria a quantidade como no caso do dióxido de carbono CO_2 . Berzelius é o pai da atual simbologia para identificação dos elementos químicos, através de uma notação simbólica. Ele conclui que a representação gráfica de cada elemento deveria ser representada pela primeira letra de seu nome latino. Para o potássio (kalium) seria a letra K, para o fósforo (phosphorum) a letra P. Quando necessário, uma segunda letra

diferenciadora deveria ser acrescentada como, por exemplo, o ouro (aurum) que se tornou Au e o cobre (cuprum) que se tornou Cu.

Strathern (2002) coloca que esta linguagem contrastava com a linguagem de Lavoisier² que era uma nomenclatura descritiva que só previa quais substâncias iriam resultar de uma reação. A proposta de Berzelius trouxe à sua maneira uma linguagem matemática que podia prever as quantidades relativas que estavam envolvidas na reação. Um exemplo da diferença entre ambas pode ser exemplificado da seguinte forma:

Lavoisier: zinco + ácido clorídrico = cloreto de zinco + hidrogênio

Berzelius mostra as proporções: $Zn + 2 HCl = ZnCl_2 + H_2$

Assim, pode-se interpretar esta modificação compreendendo que Berzelius introduz, em sua notação, um elemento de carga cognitiva (KIRSCHNER, 2002): o nome químico do composto deixa de ser o adotado – tal qual Lavoisier apresenta de forma explícita na sua representação – que passa a ser uma função atribuída ao processamento cerebral interno do químico que lê a equação química. Contudo, ele reduz a carga cognitiva em prever quantidades de compostos, bem como a conservação do elemento químico de cada espécie molecular, tanto do lado esquerdo (reagentes) como do lado direito (produtos) da reação. Pode-se, então, afirmar que a mudança na notação ocorre para resolver pragmaticamente o problema central da conservação de massa e de identificação do elemento químico. Além disto, as representações começam a ser operáveis, tal qual ocorre na matemática, onde se podem fazer cálculos estequiométricos diretamente nas representações externas. As representações, portanto, agora operáveis, requeriam o desenvolvimento de novos invariantes operatórios, que, contudo, permitiam uma diminuição da carga cognitiva – por transferir operações internas para operações externas, diretamente na representação.

Mesmo assim, no meio do século 19, os cientistas tinham uma variedade exagerada de representações que poderiam ser utilizadas em Química. A representação química da água, por exemplo, podia ser escrita como HO, H₂O, ~~HΘ~~ ou ~~ΘH~~. Roque e Silva (2008) comentam que, somente para o ácido acético, em 1861, havia 19 diferentes representações. Para sanar esta dificuldade fazia-se necessário a criação de uma linguagem homogênea na Química, caso contrário a expansão da Química poderia ser prejudicada. A Química Orgânica era a principal afetada devido ao fato de compostos orgânicos serem constituídos por carbono, e este elemento exibir uma vasta diversidade não só nos modos como forma as ligações, mas também no número de outros elementos com os quais é capaz de se ligar. Existe um número consideravelmente maior de compostos de carbono em relação aos demais elementos combinados (LE COUTEUR, BURRESON, 2006).

² Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) químico francês é considerado o pai da Química. Sempre adotou uma abordagem moderna baseado na experimentação. Tentou ainda encontrar uma linguagem própria para a química.

Couper³ teve a idéia de representar as ligações por traços ou pontos. As estruturas de Couper ou fórmulas estruturais planas são representações, por traços de união, de todas as ligações covalentes entre todos os átomos da molécula. E podem ser de três tipos: simples, dupla ou tripla, onde cada ligação é representada por um traço conectando ambos os átomos ligantes.

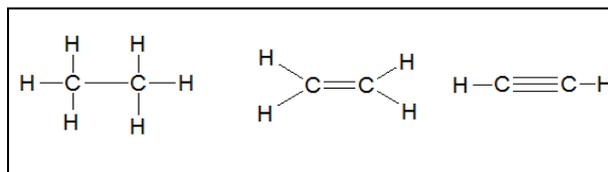


Figura 2. Estruturas de Couper

Couper introduz elementos representacionais que refletem o conceito de ligação, devido à suas experiências com situações-problema onde múltiplas valências poderiam ocorrer para o carbono. Assim, o conceito de composto químico incorporaria, portanto, o de ligação química (ou tipo de ligação química), permitindo a solução de uma gama maior de situações-problema que envolvia o conceito de valência. Mais uma vez, esta reconstrução representacional incorporava conceitos novos (ligação química) ao conceito de composto químico, bem como novos invariantes.

A linguagem escrita e falada dos compostos orgânicos só começou a ser organizada após o Congresso de Karlsruhe em 1860. Participaram desses encontros 140 importantes químicos dos diferentes continentes, envolvendo representantes de doze países. O principal objetivo do congresso era encontrar um consenso, de uma comunidade científica em expansão, em relação à linguagem e às representações utilizadas pelos químicos. Contudo, após esta contribuição, foi necessário outro desenvolvimento para evolução representacional de compostos químicos.

AS REPRESENTAÇÕES DE WERNER E SMITH

“...Ficou aparente que a riqueza dos compostos da química orgânica precisavam de uma racionalização diferente que a prevalecente teoria eletroquímica introduzida por Berzelius que explicava satisfatoriamente os compostos iônicos conhecidos. Crucial neste respeito foi a descoberta, por Liebig e Wöhler, dos isômeros... Assim, ficou claro que átomos podiam fazer ligações de forma diferente em moléculas.” (Balaban, 1999, tradução nossa)

Complementando, Habraken, em um artigo publicado em 2004 no *Journal of Science Education and Technology*, mostra a evolução das representações gráficas que ocorreram na comunicação química durante o último século. A Figura 3 traz as representações dos isômeros derivados do composto benzil-dioxima. Em 1890, Alfred Werner, demonstrou pictoricamente que os diferentes pontos fusão encontrados para os três isômeros era atribuído às diferenças estruturais das moléculas. Todas essas representações foram desenvolvidas com base nas estruturas de Couper e aprimoradas com o passar do tempo. Dessa forma, para resolver uma situação-problema em particular (ponto de fusão da benzil-dioxima), Werner criou representações vinculadas

³ Archibald Scott Couper (1831 - 1892) químico britânico foi pioneiro da descoberta das múltiplas valências do carbono. Sugeriu que cada valência do carbono fosse representada por um traço dando origem à fórmula estrutural plana.

ao conceito de Isomeria Geométrica. A solução desta situação problema, portanto, envolvia o desenvolvimento de uma nova representação, que incorporasse informação estrutural importante na representação. Utilizando elementos desta representação, Werner resolveu a situação-problema, ou seja, utilizando representações externas. O desenvolvimento desta representação foi apenas possível, pois o meio de divulgação de comunicação química (revistas e livros) era capaz de expressar estas representações; dito de outro modo, a indústria de impressão de livros e revistas era capaz de imprimir estas estruturas antes da era gráfica. Note que até a descoberta dos isômeros, não estava claro que a estrutura geométrica molecular era importante para o estudo das propriedades químicas (relação estrutura-propriedade). Assim, para resolver o problema – ou o conjunto de situações-problemas que indicavam que um mesmo composto apresentava diferentes propriedades levou à criação de mais um conceito dentro do já vasto campo conceitual da Química Orgânica, o conceito de Isomeria por Liebig e Wöhler. Este conceito foi melhor descrito com a criação das representações de Werner em 1890. Assim, a resolução daquela situação-problema envolvia a aplicação de um conceito cuja representação evoluiu dentro da comunidade dos químicos até incorporar informação estrutural (geométrica). Esta foi, até onde os autores conhecem, a primeira vez que isto ocorreu na química.

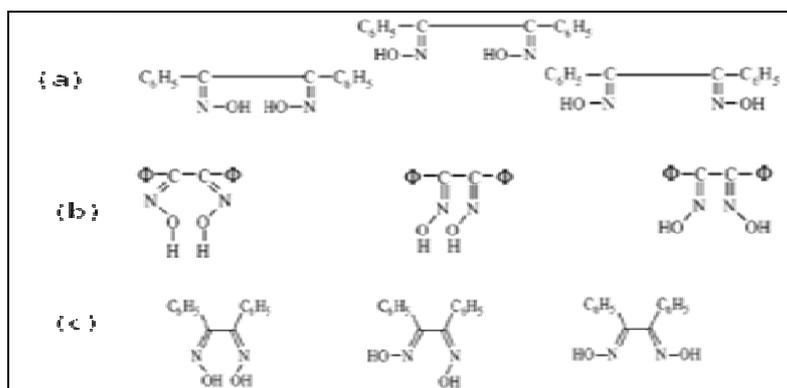


Figura 3. Representação por Werner em 1890 (a), Smith em 1960 (b) e a representação atual(c).

Esses exemplos demonstram como as representações evoluíram, buscando explicitar os conceitos de uma forma cada vez mais concisa. A fórmula química que antes apenas ilustrava de forma qualitativa e quantitativa os elementos combinados passou a ter um papel mais importante quando começaram a ser representadas espacialmente. “A partir da segunda metade do século XIX, os químicos começaram a usar as fórmulas como uma representação espacial da molécula, que poderia explicar várias propriedades das substâncias.” (MORTIMER, 1996).

A representação espacial é de grande utilidade para a química, pois permite a percepção de detalhes sutis que sem elas não seria possível compreender. “A utilidade da representação gráfica reside no fato de que ela constitui uma espécie impressão digital tridimensional para cada um dos diferentes compostos químicos.” (HABRAKEN, 2004). A representação gráfica é, portanto, o fruto do desenvolvimento da química orgânica estrutural, que culmina no que se vem a chamar de “estereoquímica”. O desenvolvimento desta área, inclusive, foi o fruto do esforço de várias gerações de químicos. Dentre estes estudos, contribuições decisivas foram agraciadas com no mínimo sete prêmios Nobel, o que atesta a importância do

desenvolvimento desta área para química (Nobéis de 1901, 1902, 1905, 1913 – este para Werner, 1963, 1969 e 1975).

A partir desde desdobramento, várias propostas para a padronização da nomenclatura química surgiram. As nomenclaturas e desenhos são produzidos de acordo com as convenções e normas internacionais. A partir de 1921 a IUPAC - sigla em Inglês para União Internacional de Química Pura e Aplicada - uma organização científica, internacional e não-governamental, através de uma série de comitês e comissões é quem faz recomendações sobre a nomenclatura e símbolos que devem ser usados em publicações técnicas e científicas. De forma sucinta, podemos observar que a evolução histórica do foco representacional da química, digamos, no “papel” passa por representações de/dos:

- Alquimistas (atributos herméticos e práticos)
- Artesões (atributos pragmáticos sensoriais)
- Lavoisier (foco nos constituintes do composto)
- Berzelius (simplifica do nome químico para o símbolo químico)
- Couper (incorpora a representação das ligações na fórmula química)
- Werner (incorpora a estrutura geométrica de forma simplificada na discussão de isômeros)
- Smith (começa a representar os ângulos de ligação de forma mais fidedigna na representação estrutural)

Com base nesta evolução podemos compreender que analisar a representação e sua evolução histórica é importante para compreender a própria evolução sócio-histórico-cultural dos conceitos em Química. De fato, as representações foram alteradas por razões que eram, na ordem, filosóficas, pragmáticas, procedimental, para tornar a escrita mais sucinta, para introduzir o conceito de ligação na compreensão do composto e finalmente para introduzir aspectos geométricos na compreensão do composto. A própria compreensão do que era um composto químico foi evoluindo com o tempo, enriquecendo este conceito com outros conceitos auxiliares (ligação, isomeria) que refletiram no desenvolvimento de novas representações, que de certa forma permitissem uma diminuição da carga cognitiva ao se comunicar o conceito. E assim, permitissem que a mente do químico pudesse utilizar os elementos da representação para pensar sobre aqueles compostos.

DO PAPEL AO COMPUTADOR

Com a necessidade de representações que mostrassem a geometria molecular, surgiu concomitantemente a necessidade do uso de representações tridimensionais. Inicialmente as mesmas eram representadas no papel, em alguma forma de projeção. Se tomarmos como exemplo os isômeros geométricos, onde a estrutura tridimensional é fundamental para a distinção entre os pares de isômeros, podemos representar as estruturas conforme a Figura 4 a seguir que traz a representação usual das moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno, respectivamente.

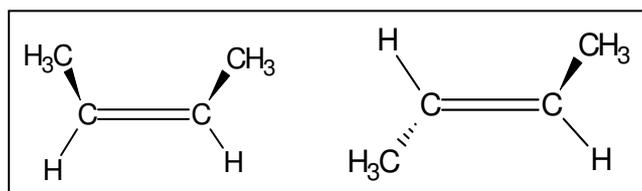


Figura 4: Representação usual em 3D

As estruturas 3D são representadas no papel através de duas ligações planas; uma representada por uma cunha cheia, indicando que a ligação está saindo para frente do plano do papel e uma com a cunha vazada indicando que a ligação está saindo para trás do plano do papel. Porém esta estrutura dificulta a compreensão, sobretudo quando há necessidade de diferenciação dos isômeros. A Figura 5 representa a mesma molécula de cis-2-buteno e trans-2-buteno através de um modelo computacional. A vantagem em relação à representação anterior é que o estudante pode manipular os modelos e analisar a geometria da molécula através de uma visualização externa que será internalizada. Ao contrário da outra representação que o estudante deverá realizar uma operação interna para compreender a estrutura da molécula.

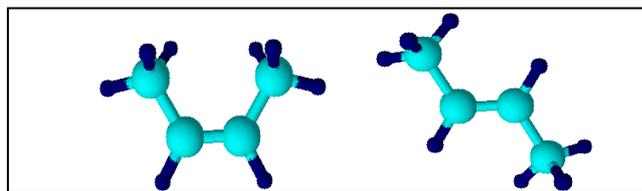


Figura 5: Representação computacional em 3D

“Desenhamos as estruturas fixas em papel, que são intrinsecamente bidimensionais e, no entanto, uma das características distintivas da química tridimensional é a sua arquitetura.” (ZARE, 2002). Os modelos computacionais serviram para, de forma prática, dar acesso às estruturas tridimensionais dos compostos químicos. Assim, como lembra Balaban (1999), os químicos de hoje são treinados para compreender isomerismo constitucional e estérico em termos de modelos visuais. Estes modelos visuais podem ser desenhados em um computador e serem até utilizados em um processamento externo (BALABAN, 1976; TRINAJSTIC, 1992 apud BALABAN, 1999) de pesquisa em milhares de estruturas em bancos de dados. Assim, a utilidade das representações construídas continua a ser aumentada com o surgimento da capacidade de processamento externo computacional. Este processamento externo é capaz de realizar bilhões de operações aritméticas por segundo e a química computacional faz uso extensivo desta capacidade de processamento, fruto de um desenvolvimento histórico notável, discutido em detalhes por Park (2003).

A evolução das representações em química, com o advento das representações gráficas tridimensionais manipuláveis em computador incorpora diversos elementos que auxiliam na compreensão da representação de moléculas isoladas, mas também de moléculas em meio solvente. Macromoléculas também são representadas de forma peculiar. Estes elementos representacionais introduzidos auxiliam na compreensão do efeito da interação intermolecular em moléculas particulares, bem como no efeito da interação intramolecular e a disposição geométrica-espacial de macromoléculas. Sendo assim, o próprio conceito de composto químico caminha agora para a incorporação da interação inter e intramolecular na representação.

CONCLUSÃO

A análise da evolução da representação na química oferece a perspectiva de contemplar como a noção-conceito de composto químico evoluiu, incorporando elementos representacionais que permitissem a incorporação de conceitos importantes embutidos nas próprias representações. Estes conceitos eram necessários à resolução de situações problemas novos, incorporados historicamente. Estas representações reconstruídas tornam-se mais poderosas e capazes de resolver situações-problemas mais complexos, permitindo o avanço científico da química, e enriquecendo conceitos, tornando evidente a relação entre eles. Ao mesmo tempo, a reconstrução destas representações demandava um conjunto novo de invariantes operatórios que, ao operar nos novos conceitos incorporados, diminuía a carga cognitiva (interna) dos químicos, possibilitando operações mentais diretamente nas novas representações externas. Dessa forma, cada reconstrução representacional incorporava novos conceitos e aumentava o poder operatório externo das representações, diminuindo a carga cognitiva e aumentando o poder explanatório dos conceitos químicos ao resolver cada vez mais uma gama nova de situações-problema.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, W. **Between the library and the laboratory: The language of chemistry in eighteenth-century France**. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1984.
- BALABAN, A. T. (Ed.). **Chemical Applications of Graph Theory**. London: Academic Press, 1976.
- BALABAN, A. T. Visual Chemistry: Three-Dimensional Perception of Chemical Structures. **Journal of Science Education and Technology**, v. 8, n.4, p. 251-255, 1999.
- CHASSOT, A. **Para que(m) é útil o ensino? Alternativas para um ensino (de Química) mais crítico**. Canoas: Editora da Ulbra, 1995.
- CROSLAND, M. **Historical studies in the language of chemistry**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1962.
- FLOR, C. A necessidade do estabelecimento de uma linguagem química na visão de estudantes do ensino médio. In: XVI Encontro de Química da Região Sul (16-SBQSul). **Anais do 16-SBQSul**, 2007.
- GABEL, D. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n.4, p. 548-554, 1999.
- GABEL, D. Use of the Particulate Nature of Matter in Developing Conceptual Understanding. **Journal of Chemical Education**, v. 70 n. 3, p. 193-194, 1993.
- GOLDFARB, A. **Da Alquimia a Química: um estudo sobre a passagem do conhecimento mágico-vitalista ao mecanismo**, São Paulo: Ed. Landy, 2001.
- HABRAKEN, C. Integrating into Chemistry Teaching Today's Student's Visuospatial Talents and Skills, and the Teaching of Today's Chemistry's Graphical Language. **Journal of Science Education and Technology**, v. 13, n. 1, 2004.
- HOLMYARD, Eric John. **Alchemy**. New York: Dover, 1990
- JOHNSTONE, A. Macro and microchemistry. **School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982.
- JOHNSTONE, A.H. Why Science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal Computer Assisted Learning**, n.7, 1991.
- JONES ET AL. Molecular Visualization in: molecular visualization in science education works NCSA, Access Center, Arlington, VA January 12-14, **Science**

Education Report from the Molecular Visualization in Science Education Works NCSA, 2001

KIRSCHNER, P. A. Cognitive load theory: implications of cognitive load theory in the design of learning. **Learning and instruction**, v. 12, p. 1-10, 2002.

KOZMA, R.; CHIN, E.; RUSSELL, J.; MARX, N. The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. **Journal of the Learning Sciences**, v. 9, n.2, p. 105-143, 2000.

LE COUTEUR; BURRESON, J.P. **Os botões de Napoleão : as 17 moléculas que mudaram a história**; tradução Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Zahar, 2006. 343 p.

MACHADO, A.H.; MOURA, A. L. A. Concepções sobre o papel da linguagem no processo de elaboração conceitual em Química. **Química Nova na Escola**, v. 1, n. 2, p. 27-30, 1995.

MORTIMER, E. F. O Significado das Fórmulas Químicas. **Química Nova na Escola**, n. 3, p. 19-21, 1996.

OBRIST ,B. Visualization in Medieval Alchemy from HYLE, **The International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 9, n.2 ,2003.

PARK, B. S. The 'Hyperbola of Quantum Chemistry': the Changing Practice and Identity of a Scientific Discipline in the Early Years of Electronic Digital Computers, 1945–65. **Annals of Science**, v. 60, p. 219-247, 2003.

PASTRÉ, P. Didactique professionnelle et développement, **Psychologie Française**, v. 42, n.1, p. 89-100, 1997.

PICHAT, M. Basic mathematical conceptualisation as pragmatically over-determined. **Philosophy of Mathematics Education Journal**, v. 14, 2001.

ROQUE, N.D; SILVA, J, L. A Linguagem Química e o Ensino da Química Orgânica. **Revista Química Nova**, v. 31, n. 4, p. 921-923, 2008.

STRATHERN, P. **O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química**. Rio de Janeiro: Zahar, 2002. 264 p., il.

TASKER R. and DALTON R. Research into practice: visualisation of the molecular world using animations, **Chemistry Education Research and Practice**, v. 7, p. 141-159, 2006.

TRINAJSTIC, N. **Chemical Graph Theory**, Boca Raton, FL: CRC Press, 2nd ed., 1992.

VERGNAUD, G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In: CARPENTER, T.; MOSER, J.; ROMBERG, T. **Addition and subtraction. A cognitive perspective**. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. p. 39-59, 1982.

VERGNAUD, G. The nature of mathematical concepts. In NUNES, T.; BRYANT, P. (Eds.) **Learning and teaching mathematics, an international perspective**. Hove (East Sussex): Psychology Press Ltd., 1997.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation of mathematics education, **Journal of Mathematical Behaviour**, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1999.

ZARE R., Visualizing chemistry, **Journal of Chemical Education**, v.79, n.11, p. 1290-1291, 2002.