

# Experimentação e modelagem: estratégias para a abordagem de ligações químicas no ensino médio

## *Experimentation and Modelling: Strategies for Teaching Chemical Bonds in High School*

Maira Ferreira<sup>1</sup>  
José Claudio Del Pino<sup>2</sup>

### **Resumo**

*Neste artigo, apresentamos uma proposição para o trabalho com o assunto ligações químicas no ensino médio, cuja defesa e argumentação é feita em dois momentos distintos. No primeiro, propomos que os modelos de ligações químicas – iônicas, metálicas e covalentes – sejam desenvolvidos a partir de atividades experimentais que possibilitem a observação de algumas propriedades de diferentes substâncias. No segundo, propomos o ensino de geometria molecular a partir da Teoria de Repulsão dos Pares de Elétrons de Valência (TRPEV) e, para facilitar a compreensão da própria teoria e de geometria molecular, sugerimos o uso de modelagem.*

**Palavras-chave:** *Ligação química, Teoria da repulsão dos pares de elétrons de valência, Ensino de química.*

### **Abstract**

*In this paper, a suggestion to work with the subject “Chemical Bond” in High Schools is presented. The defence and argumentation of this suggestion is made in two different moments. First, we propose that chemical bond models – covalent bond, ionic bond and metallic bond – are developed from experimental activities which enable the observation of some properties of different substances. Second, we propose the teaching of molecular geometry from the Valence Shell-Pair Repulsion Theory (VSEPR). Besides, we suggest the use of concrete models in order to facilitate the understanding of the VSEPR and of the molecular geometry.*

**Key words:** *Chemical Bond, Valence Shell Electron-Pair Repulsion Theory, Chemistry teaching.*

<sup>1</sup> Licenciada em química e física pela PUCRS, especialista em química pela UNISINOS, especialista em educação química e mestre em educação pela UFRGS, é docente do Curso de Licenciatura em Química no UNILASALLE.

<sup>2</sup> Licenciado em química pela PUCRS, especialista em ensino de química pela UCS e doutor em química de biomassa pela UFRGS, é docente do Instituto de Química da UFRGS, onde coordena a Área de Educação Química./Instituto de Química - UFRGS (Av. Bento Gonçalves, 9500 - Sala D-114 Campus do Vale - 91501-970 - Porto Alegre - RS).

## Introdução

O assunto *ligações químicas* comumente é trabalhado em aulas de química na primeira série do ensino médio e nos semestres iniciais dos cursos de formação de professores de química. Isso se deve, possivelmente, à importância desse conhecimento para a compreensão de outros assuntos trabalhados na disciplina, ou então, apenas, porque compõe a listagem de conteúdos selecionada para ser “vista” em um determinado nível na formação dos/as estudantes. De qualquer modo, é possível afirmarmos que a compreensão dessa temática - os diferentes modelos de ligações químicas - por parte dos/as estudantes passa a ser uma preocupação dos/as professores/as de química, pois muitos vêem este, como um conteúdo “básico” para o estudo da química (Silva, Eichler e Del Pino, 2003).

Queremos enfatizar que, de fato, a compreensão dos modelos de ligações químicas pode redimensionar a organização dos conceitos trabalhados em química, devido a abrangência que alcançam em assuntos com maior ou menor grau de complexidade e que exigem operacionalização formal. Desse modo, pode-se associar a compreensão dos modelos de ligações às compreensões que envolvem modelos de átomos, de moléculas, de íons e de reações químicas, entre outros.

É comum vermos nos livros didáticos (por exemplo, Feltre, 2001; Usberco, 2002; Utimura, 1998) os modelos de ligações sendo apresentados, não como modelos que explicam o comportamento das substâncias, mas como um conteúdo isolado, cuja aprendizagem passa a ser um fim em si mesmo. Além disso, os conceitos que envolvem a ligação entre átomos ou entre moléculas são tratados de forma dogmática, podendo levar o estudante a pensar que “essas” ligações podem ser “vistas” o que lhes permitiria, a partir disso, caracterizar, classificar e diferenciar as substâncias. Ao contrário, pensamos que o conteúdo de ligações químicas deva ser desenvolvido, especialmente no ensino médio, a partir das propriedades

observáveis das substâncias (fenômenos/transformações) para, então, direcionar o trabalho para a compreensão dos modelos de ligações (nível atômico-molecular), já que por meio desses, podemos explicar os diferentes comportamentos/propriedades dessas substâncias. Constitui-se, assim, uma prática que pode ressignificar em nível microscópico o vivenciado no nível macroscópico.

Salientamos, ainda, que as especificidades dos diferentes modelos de ligações (especialmente a ligação covalente), nos põem diante de dificuldades para explicar a “existência” de algumas substâncias (por exemplo, o dióxido de enxofre) considerando que estamos propondo o estudo de ligações a partir da “teoria” do octeto. Em função disso e, também, devido à dificuldade em explicar-se geometria molecular; já que é necessário ter a noção de disposição espacial das espécies químicas que compõem as moléculas, apresentamos e defendemos uma estratégia para o ensino de ligações covalentes e de geometria molecular; a partir da Teoria de Repulsão dos Pares de Elétrons de Valência (TRPEV).

Assim, consideramos adequado iniciar o estudo de ligações químicas com a realização de atividades experimentais que permitam a análise de algumas propriedades das substâncias para, a partir da observação/comparação do comportamento de diferentes materiais, compreender as interações atômico-moleculares através dos modelos de ligações químicas. E, ao desenvolver o estudo do modelo de ligações covalentes, utilizar modelagem com material concreto para representar as ligações e a geometria das moléculas segundo a TRPEV. Essas direções são opções que determinam o caráter alternativo dessa proposta de ensino.

## Fundamentando a proposta

As estratégias metodológicas que enfatizam a importância do uso de mode-

los para facilitar a aprendizagem, têm-se traduzido em significativas contribuições para o entendimento/explicação de fenômenos ocorridos na natureza, bem como das transformações das diferentes substâncias. Desse modo, os estudantes podem buscar explicações científicas para os fenômenos observados cotidianamente na tentativa de diminuir o nível de dificuldade que apresentam em avançar do nível fenomenológico para o nível atômico-molecular. A exemplo disso, destacamos trabalhos que envolvem diferentes temáticas: transformações químicas (Mortimer e Miranda, 1995; Rosa & Schmetzler, 1998), condução de eletricidade (Boff & Frison, 1996) e o próprio tratamento dado ao conceito de modelagem molecular (Santos, 2001).

Sabemos que as diferentes abordagens didáticas associadas ao ensino de ligações químicas se dão em função das teorias que norteiam a prática dos professores de química, e essas têm diferentes abrangências de acordo com o nível de complexidade das informações associadas ao referencial utilizado. No ensino médio, ainda, se discute a adequação ou não em dar-se um tratamento clássico ou quântico ao estudo de modelos atômicos e, conseqüentemente, ao estudo de ligações químicas. Nesse sentido, Toma (1997) discute as possibilidades de se trabalhar o assunto ligações químicas em uma abordagem clássica (mecânica molecular) ou com o uso da mecânica quântica. Ele chama a atenção de que, sob o ponto de vista didático, a modelagem molecular permitiria ao aluno uma exploração mais detalhada da estrutura tridimensional das moléculas e diz que, atualmente, os métodos da mecânica molecular seriam os mais adequados para os alunos de ensino médio.

É possível, também, encontrar na literatura disponível em química geral e/ou inorgânica para o nível superior de escolaridade (Santos Filho, 1999; Cruz, Chamizo e Garritz, 1991) a apresentação da Teoria

de Repulsão dos Pares de Elétrons de Valência (Gillespie, 1963 e 1970) como alternativa de estudo e construção de modelos de ligação covalente, devido à clareza com que explica a distribuição de elétrons entre os constituintes das moléculas. A utilização dessa teoria facilita o estudo de geometria molecular, polaridade e solubilidade das substâncias, pois permite abordar as ligações covalentes e a geometria molecular a partir de modelos atômicos mais simples como o modelo atômico de Rutherford-Bohr.

Acreditamos ser adequado usar esta alternativa de ensino, porque exige tratamento de conceitos mais apropriados ao estágio de desenvolvimento cognitivo dos alunos deste nível de escolaridade, uma vez que, a distribuição dos pares eletrônicos em regiões no espaço onde estes centros de carga apresentam menor repulsão se constitui em uma estratégia facilitadora para proposição e compreensão da geometria das moléculas. Nesse sentido, trazemos a referência à TRPEV como “um modelo extremamente convincente em se tratando de estruturas moleculares”<sup>3</sup> (Huheey, 1983, p. 208) em função dos “efeitos dos pares ligantes e pares isolados nos ângulos de ligação” (Lee, 1996, p.33).

## A proposta metodológica: observando e testando as substâncias

Para a apresentação/compreensão dos modelos de ligações químicas, propomos aos estudantes que reflitam sobre a referência que fazemos às substâncias em função da sua utilidade, já que em situações rotineiras, quando precisamos de um isolante procuramos um determinado material, quando necessitamos de um condutor buscamos outro, já para riscar um metal, por exemplo,

<sup>3</sup> Tradução nossa

pensamos em substâncias mais duras e resistentes e, assim, pode-se citar muitas outras situações em que o uso que se queira fazer dos materiais determina a sua importância. A partir dessa reflexão, é proposto aos alunos que analisem as propriedades físicas de algumas substâncias em um conjunto de experimentos que possibilitem justificar a classificação dessas substâncias.

Os experimentos se constituem em observar e registrar em uma tabela, dados sobre um conjunto de substâncias materiais<sup>4</sup>. A primeira atividade trata da condutibilidade elétrica dos materiais; a segunda trata de alguns pontos de fusão e de ebulição, bem como, cor, estado físico, brilho e dureza das substâncias; e a terceira se baseia na solubilidade das substâncias em diferentes solventes. Os registros das observações são feitos em três tabelas, onde é possível estabelecer relações sobre os grupos de substâncias com comportamento semelhante quanto à condução de corrente (as condutoras e as não condutoras), quanto ao aspecto (possuir brilho, ter maior ou menor pontos de fusão e ebulição etc) e quanto a solubilidade (ser solúvel apenas em água ou em solvente apolar, ou ser solúvel/insolúvel em ambos).

Em uma quarta tabela, os alunos registram as observações realizadas nas três atividades, estabelecendo relações e agrupando as substâncias em função dos diferentes comportamentos desses materiais e são incitados a pensar sobre modelos explicativos para as propriedades dos materiais no nível atômico-molecular. A partir disso, é proposto o estudo de modelos de ligações entre átomos, sendo, então, os modelos de ligações iônicas, covalentes e metálicas associados às propriedades apontadas como características de substâncias

iônicas, covalentes, moleculares<sup>5</sup> e metálicas agrupadas na quarta tabela.

Os modelos tradicionalmente utilizados numa abordagem didática – que usa a “teoria” do octeto – de ligações iônicas e metálicas são convenientes para apresentar estruturas e propriedades de compostos iônicos e metálicos, porém o modelo de ligação covalente associado aos compostos moleculares, possui algumas limitações. É um modelo que se ampara em teorias que precisam utilizar recursos didáticos confusos e equivocados, como é o caso da covalência dativa, ou exigem um nível maior de pré-requisitos do que normalmente alunos do primeiro ano do ensino médio possuem, como é o caso da complexidade dos conhecimentos associados à hibridização e à geometria de orbitais sigma e pi. Em função disso, sugere-se a utilização da teoria da repulsão dos pares de elétrons de valência para o estudo da ligação covalente.

## A proposta metodológica: apresentando TRPEV para as ligações covalentes<sup>6</sup>

A teoria da repulsão dos pares de elétrons no nível de valência foi desenvolvida por Gillespie e Nyholm em 1957 e se fundamenta na determinação do número total de elétrons de valência dos átomos envolvidos na ligação e, conseqüentemente, no número total de pares de elétrons de valência como ponto de partida para a determinação do número de pares ligantes (PL) - associados à

<sup>5</sup> Para substâncias moleculares é preciso, também, fazer o estudo dos modelos de ligações entre moléculas, pois apenas o modelo de ligação covalente não explica as propriedades dessas substâncias.

<sup>6</sup> Estas atividades estão descritas no material didático sobre ligações químicas. A proposta foi adaptada do trabalho desenvolvido por Breyer et al (1995). A edição pela Área de Educação Química da Ufrgs (AEQ/UFRGS) em 1998 está disponível no endereço <http://www.iq.ufrgs.br/aeq>

<sup>4</sup> As atividades podem ser acessadas, na íntegra, no endereço <http://www.iq.ufrgs.br/aeq>

atribuição de octetos aos átomos coordenados<sup>7</sup>, sendo possível a formação de mais de um par de elétrons na ligação (ligação dupla ou tripla) - e do número de pares não-ligantes (PNL) ou pares isolados. Com a determinação do número

de átomos coordenados mais o número de pares isolados, é possível se construir um arranjo destes para, então, propor a estrutura geométrica da espécie (Barros, 1995). Alguns exemplos aparecem na figura 1.

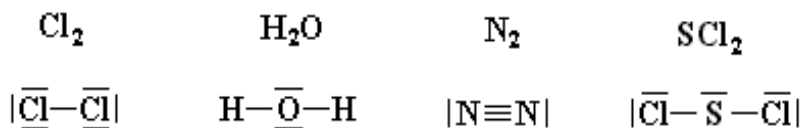


Figura 1 – Distribuição de pares de elétrons<sup>8</sup>

A partir dos exemplos acima, propomos aos alunos e/ou professores que determinem o total de elétrons da camada de valência e o total de pares de elétrons, indiquem o átomo central, representem os

pares de elétrons na estrutura e determinem o total de pares ligantes (PL) e pares não-ligantes (PNL) para as estruturas que representam as substâncias  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , completando uma tabela (tabela 1).

Tabela 1: Alguns exemplos de distribuição de elétrons na formação de compostos

MOLÉCULA	$\text{NH}_3$	$\text{SO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
Nº total de elétrons da camada de valência	N(G.15): $5e^- \times 1 = 5$ H(G.1): $1e^- \times 3 = 3$ Total = $8e^-$	S(G.16): $6e^- \times 1 = 6$ O(G.16): $6e^- \times 2 = 12$ Total = $18e^-$	H(G.1): $1e^- \times 2 = 2$ O(G.16): $6e^- \times 1 = 6$ Total = $8e^-$
Total de pares de elétrons	4 pares	9 pares	4 pares
Átomo Central	N	S	O
Distribuição dos pares de elétrons	$  \begin{array}{c}  \text{H}-\underline{\text{N}}-\text{H} \\    \\  \text{H}  \end{array}  $	$   \underline{\text{O}}-\underline{\text{S}}=\underline{\text{O}}   $	$  \text{H}-\underline{\text{O}}-\text{H}  $
PL	3	3	2
PNL	1	6	2

## Determinando a geometria molecular

Considerando a repulsão dos pares de elétrons de valência e, em função disso, a disposição espacial dos pares ligantes e não ligantes em relação aos átomos que com-

põem a molécula, podemos determinar a geometria molecular, pois a distribuição dos pares de elétrons presentes na estrutura da

<sup>8</sup> Optamos, nessa etapa da proposta, em representar os pares de elétrons por traços (embora tenhamos utilizado em uma fase anterior a representação segundo a estrutura de Lewis), já que na seqüência é proposto aos alunos: utilizar massa de modelar e palitos para representar átomos e pares de elétrons (cada palito representa um par), respectivamente.

<sup>7</sup> São os átomos ligados ao átomo central.










molécula - PL e PNL - deve seguir uma orientação espacial onde a repulsão entre os pares seja a menor possível. Barros (1995, p. 231) aponta que “segundo esse modelo, a distribuição espacial dos átomos coordenados e dos pares não ligantes será aquela que minimiza a repulsão eletrostática entre eles”, o autor afirma também que “o modelo é notavelmente eficaz na previsão da geometria de compostos entre não metais”.

Para auxiliar o tratamento desses conceitos e o futuro entendimento da polaridade molecular, propomos um trabalho com modelagem utilizando massa de modelar (representando os átomos) e palitos ou canudinhos de refrigerante (representando os pa-

res de repulsão - PL e PNL). Solicitamos que os palitos (representando pares de elétrons) sejam distribuídos com o maior afastamento possível e que seja feita a medida dos ângulos formados entre eles. A partir das medidas dos ângulos entre os pares de elétrons (a disposição espacial dos pares de elétrons é determinada em relação à posição dos PL e PNL) é possível determinar a geometria molecular; já que essa é representada em função das posições dos núcleos dos átomos envolvidos na formação da molécula.

Na tabela que segue, apresentamos algumas estruturas relacionando a disposição espacial dos pares de elétrons (PL e PNL) com a geometria da molécula.

Tabela 2: Disposição espacial e geometria de algumas moléculas<sup>9</sup>

Regiões de Repulsão (RR <sup>a</sup> )	Disposição espacial dos pares de elétrons	Geometria molecular	Exemplo
4 RR 4 PL (lig. simples)	Tetraédrica	Tetraédrica	
4 RR 3 PL (lig. simples) + 1 PNL	Tetraédrica	Piramidal	
4 RR 2 PL (lig. simples) + 2 PNL	Tetraédrica	Angular	
4 RR 1 PL (lig. simples) + 3 PNL	Tetraédrica	Linear	
3 RR 3 PL (lig. simples)	Trigonal	Trigonal plana	
3 RR 2 PL (lig. simples e lig. dupla) + 1 PNL	Trigonal	Angular	
3 RR 1 PL (lig. dupla) + 2 PNL	Trigonal	Linear	
2 RR 2 PL (lig. duplas)	Linear	Linear	
2 RR - 1 PL (lig. Tripla) + 1 PNL	Linear	Linear	

<sup>9</sup> Tabela adaptada de Breyer et al e compõe o material didático disponível em [www.iq.ufrgs.br/aeq](http://www.iq.ufrgs.br/aeq)



A geometria molecular pode conferir uma possibilidade para a determinação da polaridade das substâncias em função da simetria da estrutura. A simetria da molécula está associada ao tipo de átomo envolvido na ligação (maior ou menor atração eletrônica) e, também, à geometria molecular. Ao representar as moléculas com bolinhas de massa de modelar e palitos/canudinhos de refrigerante é possível imaginar a disposição espacial dos pares de elétrons na estrutura e, conseqüentemente, sua geometria molecular, sendo possível até apontar, em alguns casos, sua polaridade/apolaridade.

Como a simetria/assimetria molecular pode ser um indicador da polaridade da molécula em diferentes regiões ou pólos de densidades eletrônicas. Assim, compostos que apresentam geometria linear podem ser polares como o ácido fluorídrico (HF) e o ácido cianídrico (HCN), ou serem apolares como o oxigênio (O<sub>2</sub>) e o gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Isso vai depender dos átomos (sua eletronegatividade) que formam a estrutura. De modo semelhante, pode-se analisar os compostos cuja geometria molecular seja trigonal plana ou tetraédrica.

Já os compostos que apresentam geometria angular ou piramidal são sempre polares. Podemos citar como exemplos, respectivamente, a água (H<sub>2</sub>O) e a amônia (NH<sub>3</sub>). Suas moléculas são assimétricas, pois os PL e os PNL formam ângulos entre si que determinam maior densidade eletrônica em algumas regiões e menor em outras.

## Considerações finais

A abordagem do assunto ligações químicas que estamos propondo neste artigo, tem sido socializada em inúmeras atividades que temos desenvolvido em cursos de formação de professores, sendo positiva a avaliação daqueles que passaram a trabalhar o conteúdo de ligações químicas dentro desse enfoque, principalmente, quan-

do consideram o envolvimento dos alunos nas atividades e os seus níveis de aprendizagem do assunto em questão.

Queremos aqui expressar nossa convicção sobre a necessidade de buscar alternativas metodológicas para o ensino de química, mas, principalmente, de estabelecer critérios para a seleção dos conteúdos a serem trabalhados no ensino médio, em função da necessidade desses conhecimentos para outras aprendizagens em química. Consideramos que a seleção de conceitos pertinentes ao assunto ligações químicas deve levar em conta o grau de abstração necessário para que haja sua devida compreensão e, nesse sentido, entendemos que o trabalho com atividades experimentais pode favorecer o alcance do nível de cognição necessário para a realização das abstrações pertinentes à compreensão em nível atômico-molecular.

Por outro lado, a proposição da TRPEV possibilita a utilização de teorias (associadas às ligações químicas) de menor complexidade, facilitando sua apropriação na construção dos modelos explicativos satisfatório para a aprendizagem desse assunto. Além disso, é necessário pensar-se em disponibilizar programas, projetos e propostas de ensino, para que sejam discutidos com professores de diferentes níveis de ensino (sobre sua aplicabilidade e relevância de seus resultados), como forma de contrapor o que tem sido tomado como modo único de se entender “teorias” e “modelos” no estudo de química.

## Referências

- BARROS, H. L. C. *Química inorgânica: uma introdução*. Belo Horizonte: Editora Segrac, 1995.
- BOFF, E. T. O.; FRISON, M. D. Explorando a existência de cargas elétricas na matéria. *Química Nova na Escola*, n.3, p. 11-14, 1996.
- BREYER, A.; REICHEL, C.; LINDNER, E. L.; MILAGRE, A. S. K. *Ligações Químicas: a construção de modelos que buscam explicar e prever as*

- propriedades das substâncias*. Porto Alegre: Colégio de Aplicação/UFRGS, mimeo, 1995.
- CRUZ, D. G.; CHAMIZO, J. A.; GARRITZ, A. *Estructura Atômica – Un Enfoque Químico*. México: Addison-Wesley Iberoamericana, 1991.
- EDUQ – *Propriedades dos compostos*. Porto Alegre: Área de Educação Química/UFRGS, mimeo, 1993.
- FELTRE, R. *Fundamentos de química*. São Paulo: Moderna, 2001.
- GILLESPIE, J. R. The valence-shell electron-pair repulsion (VSEPR) theory of directed valency. *Journal of Chemical Education*, n. 40, p. 295-301, 1963.
- GILLESPIE, J. R. The electron-pair repulsion model for molecular geometry. *Journal of Chemical Education*, n. 47, p. 18-23, 1970.
- HUHEEY, J. *Inorganic chemistry – Principles of structure and reactivity*. New York: Harper Collins Publishers, 1983.
- LEE, J. D. *Química inorgânica não tão concisa*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1996.
- MORTIMER, E. F.; MIRANDA, L. C. Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. *Revista Química Nova na Escola*, n. 2, p. 23-26, 1995.
- SILVA, S. M.; EICHLER, M. L.; DEL PINO, J. C. As percepções dos professores de Química Geral sobre a seleção e a organização conceitual em sua disciplina. *Revista Química Nova*, v. 26, n. 4, p. 585-594, 2003.
- SANTOS H. F. O conceito de modelagem molecular. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 4, p. 4-5, 2001.
- SANTOS FILHO, P. F. *Estrutura atômica & ligação química*. Campinas: Unicamp, 1999.
- ROSA, M. I. F. P. S.; SCHNETZLER, R. P. Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. *Revista Química Nova na Escola*, n. 8, p. 31-35, 1998.
- TOMA, H. E. Ligação química: abordagem clássica ou quântica. *Revista Química Nova na Escola*, n. 6, p. 8-13, 1997.
- USBERCO, J.; SALVADOR, J. *Química – vol. único*. São Paulo: Saraiva, 2002.
- UTIMURA, T. Y.; LINGUANOTO, M. *Química – vol. único*. São Paulo: FTD, 1998.