

ANA PAULA GORRI

**ANÁLISE SEMIÓTICA DE REPRESENTAÇÕES
MOLECULARES NA COMUNICAÇÃO DE CONHECIMENTOS
SOBRE ÁCIDOS E BASES EM LIVROS-TEXTO DE QUÍMICA
ORGÂNICA: PRIMEIRA E SEGUNDA TRICOTOMIA
PEIRCEANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Leandro Eichler.

FLORIANÓPOLIS-SC

2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gorri, Ana Paula

Análise semiótica de representações moleculares na comunicação de conhecimentos sobre ácidos e bases em livros-texto de química orgânica : primeira e segunda tricotomia peirceana / Ana Paula Gorri ; orientador, Marcelo Leandro Eichler - Florianópolis, SC, 2014.

213 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Representações moleculares. 3. Semiótica. 4. Química orgânica. 5. Livros-textos. I. Eichler, Marcelo Leandro . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

“Análise semiótica de representações moleculares na comunicação de conhecimentos sobre ácidos e bases em química orgânica: a primeira e a segunda tricotomia peirceana”

Dissertação submetida ao
Colegiado do Curso de Mestrado
em Educação Científica e
Tecnológica em cumprimento
parcial para a obtenção do título
de Mestre em Educação Científica
e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 17 de novembro de 2014

Marcelo Leandro Eichler (Orientador - IQ - UFRGS)

Karina Aparecida Dias de Souza (Examinadora - IQ)

Vanderlei Gageiro Machado (Examinador - QMC/UFSC)

Carlos Alberto Marques (Examinador - CED/UFSC)

5/10/14
Karina Ap. de Freitas
Vanderlei Gageiro Machado
17/11/14

17/11/14
Carlos Alberto Marques
Coordenador do PPGECT

Ana Paula Gorri
Florianópolis, Santa Catarina, 2014.

Ao querido Ourides e às queridas
Márcia e vó Laura (em memória).
Obrigada por tudo!



Agradecimentos

Meus primeiros agradecimentos não poderiam ir para outras pessoas senão à Marcia Bien e Ourides Santin, duas das principais pessoas que proporcionaram a concretização desse momento. Obrigada pelo carinho, cuidado, confiança e amizade ao longo desses anos. Obrigada por compartilharem de inúmeros momentos de felicidade e choradeira, e por me proporcionarem, em vários momentos, tanto estruturas físicas quanto mentais, para a realização do meu sonho em finalizar meu curso em química e ingressar em um programa de pós-graduação, pois, infelizmente, esses espaços ainda se mostram distantes e herméticos para maioria da população brasileira, que não desfruta dos níveis de capitais econômicos e culturais que, em grande medida, marcam a constituição da comunidade acadêmica de maneira geral. Em especial, agradeço ao eterno “professor” Ourides, enquanto meu orientador de iniciação científica, por me mostrar a arte e beleza da química, que em muitos casos ficam silenciadas devido às estruturas rígidas da histórica disciplinarização do conhecimento.

Às professoras da Universidade Estadual de Maringá, com carinho especial, agradeço às professoras Luzia Bortotti e Silvana Santin, por terem aberto as portas de seus corações e casas, compartilhado de momentos e aprendizados que levarei por toda vida. À professora Marta Bellini, pelas conversas e pelo auxílio na construção dos primeiros diálogos entre a teoria semiótica, que tanto me instigava, com os conhecimentos químicos. À professora Neide Kiouranis, pelo carinho, amizade e pelas inúmeras “choradas nos ombros”, além de todo aprendizado enquanto bolsista do PIBID.

Agradeço a Monica Fidelis, a “Mo”, pela parceria, amizade e cuidado ao longo dos anos da nossa graduação. Em especial, pelas conversas das mesas de bar e biblioteca sobre nossa relação de amor e ódio com a química orgânica. Conversas estas que motivaram muitas das indagações que me estimularam no desenvolvimento dessa pesquisa. Agradeço toda paciência da querida Vanessa Tsukada nos momentos finais da minha graduação, seu comprometimento e carinho fizeram toda diferença para a finalização da minha formação. À amizade e parceria de “longa data” da manuzita Emanuele Bien, e da adorada mineirinha Cathiane Ramos. Ao Renato e Leila Berro, e a Sonia Marostica, por todo sentimento bom que me enviaram e enviam desde os primeiros passos

deste meu trajeto. À família Maciel, em especial vó Elza e Renatão, por todo carinho, torcida e amizade.

Aos professores ao professor Carlos Alberto, o “Bebeto”, pelas conversas durante minha trajetória enquanto aluna deste programa de pós, e colega de Departamento.

Aos novos e velhos amigos e amigas, que estiveram comigo em diferentes momentos, obrigada por toda compreensão e paciência do mundo no período da minha pós e de meus “mil e trezentos trabalhos”. Dentre estes e estas: Caroline e Mariah Echeverria, Aniara Machado, Fabio Sangiogo, Bruno Simões, Patricia Giraldi, Betânia Medeiros, Aline Batista, André Luís Franco Rocha, João Alfaya, Aline Justino, Paulo Bueno, Camila Louise, Brenno Oliveira, Cintia Lima, Eliandra Pires, Claudia Glavam, Maria Carolina Magnos, Lilian Pereira, Sarah Mendes, Henrique Modesto. Em especial, agradeço ao meu companheiro de pós e aventuras na Ilha, o meu “brodis” Fernando Bernardo (Bernardinho), e do amor e preocupação da maninha Marilisa Hoffman.

Agradeço à minha família por todo aprendizado fornecido que contribuiu e contribui para a pessoa que sou. Em especial agradeço à minha mãe e irmã, Fátima de Cezare e Natalia Gorri, que apesar de todas as batalhas, sobreviventes somos!

Por fim, porém não menos especiais, os agradecimentos vão para as três pessoas que mais me suportaram e me auxiliaram, de diferentes formas, na finaleira dessa dissertação. Primeiramente a Taíse Ceolin, enquanto colegas de docência no curso de Licenciatura na Educação do Campo, pelos ensinamentos e paciência, e depois enquanto colega de casa, agradeço por todas as comidinhas, lavadas de roupa, cuidados quando fiquei doente, prosas, risadas e palhaçada. Essas e outras *cositas* me enriqueceram enquanto pessoa e me ajudaram a tornar menos pesada essa fase.

Já a segunda pessoa, mesmo em outro estado, merece todos os meus agradecimentos, tanto pela amizade quanto pelo comprometimento profissional com colegas da mesma área. Ao Evandro Rozentalski, agradeço a toda dedicação do seu tempo para dialogar comigo sobre a construção dessa dissertação. Obrigada por atender todos os telefonemas e e-mails de desespero “dissertatístico” e me salvar da fossa que as vezes a gente cai no decorrer de uma pesquisa acadêmica. Obrigada tanto pelas conversas acadêmicas, quanto as etílicas que compartilhamos! Além da amizade, tua presença e participação fizeram toda a diferença para o meu trabalho.

Por fim, mas não menos importante, eis que surge ao “final dos 45’ do segundo tempo” a parceria acadêmica e pessoal do João Paulo Ganhor. Obrigada por ser meus braços e meus olhos nos momentos em que meu corpo não aguentou. Obrigada por sempre lembrar-me de olhar as belas paisagens do Morro das Pedras e saber que estava chegando ao fim.



“Não sou nada.

Nunca serei nada.

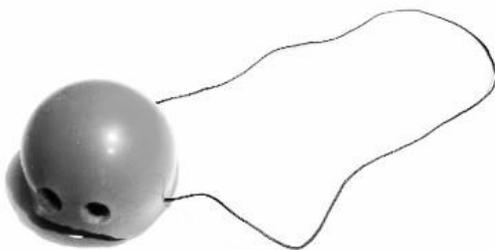
Não posso querer ser nada.

À parte isso, tenho em mim todos os sonhos do mundo...”

(Tabacaria – Fernando Pessoa)

“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria”

Paulo Freire (1996)



RESUMO

Pesquisas recentes em educação científica têm revelado que a integração de diferentes tipos de linguagens no ensino contribui significativamente na compreensão dos conhecimentos científicos. Em relação à química, pela dificuldade encontrada na descrição e interpretação dos fenômenos do mundo macro e submicroscópico, tal ciência apresenta uma linguagem peculiar e bastante diversificada. Dentre suas principais formas de comunicação, destaca-se a linguagem imagética, presente tanto no desenvolvimento das práticas químicas, como em processos de ensino e aprendizagem dessa ciência, onde a imagem se mostra como um importante recurso mediador. Em especial, na química orgânica, as representações moleculares são comumente utilizadas como forma de apreender e manipular a realidade molecular da química. Diante disso, esta dissertação tem como principal objetivo elucidar como as representações moleculares, enquanto conjuntos de signos, são utilizadas na comunicação dos conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases em livros-texto de química orgânica. Compreendemos os conhecimentos introdutórios sobre ácido e base como alicerces para o desenvolvimento de outros saberes relativos à essa área da química. Assim, baseando-se na teoria semiótica de Charles Sanders Peirce (1839-1914), analisar-se-á o que habilita um signo a agir como tal, e as relações sógnicas estabelecidas entre signo (representação) e objeto (representado), bem como o modo que os livros-texto se utilizam dos diferentes tipos de signos nas articulações realizadas na comunicação desses conhecimentos. Foram analisados 4 livros-texto de química orgânica para o Ensino Superior no que diz respeito aos conhecimentos sobre ácidos e bases. Todos os livros priorizaram a linguagem textual em detrimento da imagética. Em relação à composição dessas últimas, destaca-se que a comunicação dos conhecimentos sobre ácidos e bases ocorreu, majoritariamente, por meio de representações moleculares, que foram praticamente hegemônicas, apresentando um percentual de 94%, o que reforça a importância dessas representações no processo de comunicação dos saberes introdutórios sobre ácidos e bases em livros-texto de química orgânica. Em seguida, as representações moleculares foram agrupadas em cinco tipos: letra/letra; letra/bastão; Lewis; M.P.E.; e M.P.E. com bola/bastão, e os mesmos foram analisados e apresentados em nível crescente de iconicidade. Em todas as obras analisadas, as representações dos tipos tipo letra/letra e letra/bastão foram as mais utilizadas, ou seja, prevaleceu o caráter simbólico em tais

representações. No percurso de análise das obras, foram observadas diferentes articulações entre tais representações, elucidando a ampla gama de possibilidades que essas desencadeiam no processo comunicativo da química, e em seu ensino. Não obstante, foi possível observar também que alguns possíveis equívocos ou concepções alternativas podem ser reforçadas pelo uso indiscriminado e sem problematização a respeito das representações, ou sem maiores reflexões e esclarecimentos acerca das formas de lê-las e delas extrair as informações que se deseja. Nesse sentido, destaca-se a pertinência das contribuições da semiótica peirceana, ressaltando a necessidade de novos olhares e novas posturas em relação ao papel das representações, e suas consequentes formas de interpretação, nos processos de comunicação dos conhecimentos de química, em especial, de química orgânica. Desencadeando, assim, reflexões no contexto do ensino dessa ciência e importantes contributos ao constante aprimoramento da prática docente à ela relacionada.

Palavras-chave: Representações Moleculares. Semiótica. Química Orgânica. Livros-texto. Ácidos e Bases.

ABSTRACT

Recent research in science education have revealed that the integration of different kinds of languages in teaching contributes significantly in the understanding of scientific knowledge. Regarding the chemistry, by the difficulty in describing and interpreting the phenomena of macro and submicroscopic world, such science has a peculiar and diversified language. Among their main forms of communication, there is the imagery language, present both in the development of chemical practices as in the teaching and learning of this science, where the image shows up as an important mediator resource. Especially in organic chemistry, molecular representations are commonly used in order to grasp and manipulate the reality of molecular chemistry. Face of this, this master dissertation aims to elucidate the molecular representations while groups of signs wich are used for communicating the introductory knowledge about acids and bases in textbooks of organic chemistry. We understand the introductory knowledge about acid and base as foundations for the development of other knowledge relating to this area of chemistry. Thus, based on the semiotic theory of Charles Sanders Peirce (1839-1914) will be analyzed what enables a sign to act as such, and sign relations established between sign (representation) and the object it represents (represented) as well as the way wich textbooks make use for different types of signs in the joints that held in communication of such information. Were analyzed 4 textbooks of organic chemistry for Higher Education with regard to knowledge about acids and bases. All books prioritized textual language at the expense of imagery. Regarding the composition of the latter, it is emphasized that the communication of knowledge about acids and bases occurred, mainly, by molecular representations, which were virtually hegemonic, with a percentage of 94%, which reinforces the importance of these representations in the process communication of introductory knowledge about acids and bases in textbooks of organic chemistry. Then, the molecular representations were grouped into five types: letter / letter; letter / Bat; Lewis; M.P.E .; and M.P.E. with ball / stick, and they have been analyzed and presented in ascending level of iconicity. In all the textbooks analyzed, the representations of a kind type letter / letter and letter / Bat were the most used, ie, the symbolic character prevailed in these representations. In the process of analysis of the texbooks, different joints between such representations were observed, explaining the wide range of possibilities that these trigger the communicative

process chemistry, and in his teaching. Nevertheless, it was also observed that some possible misunderstandings or misconceptions can be strengthened by the indiscriminate use and without question the representations, or without further reflection and clarification about ways to read them and draw the information you want. In this sense, we highlight the relevance of the contributions of Peirce's semiotics, underscoring the need for new looks and new attitudes regarding the role of representations, and its attendant forms of interpretation in communication processes of knowledge of chemistry, in particular, organic chemistry. Unleashing thus reflections in the context of the teaching of science and important contributions to the constant improvement of teaching practice to related to it.

Keywords: Molecular Representations. Semiotics. Organic Chemistry. Textbooks. Acids and Bases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Um Experimento com Pássaro na Bomba de Ar - Joseph Wright of Derby (1768).....	33
Figura 2 Representação de uma reação genérica de neutralização.....	51
Figura 3 Três modos de representar a molécula de dióxido de carbono.....	52
Figura 4 Desenho em giz pastel de Roger Hayward da estrutura molecular do grupo hemo.....	59
Figura 5 Comunicação do conhecimento químico nos ambientes de ensino e aprendizagem.	76
Figura 6 Diferentes representações moleculares da cânfora. ..	78
Figura 7 Mapas de potencial da cânfora.....	79
Figura 8 Exemplos de mapas de potencial de diferentes moléculas.....	79
Figura 9 Relação entre a pressão de um gás, seu volume e sua temperatura. Bavink, 1928.	84
Figura 10 Lei de Boyle - Mariotte Puing, 1936.	84
Figura 11 Explicação da Lei de Boyle pela teoria cinética Sienko e Plane, 1926.	85
Figura 12 Exemplos de duas diferentes representações da molécula de butano.....	86
Figura 13 Mentol - de Alex Kobulnicky.....	89
Figura 14 Reprodução de ligações de hidrogênio intramoleculares” por Roger Hayward, para o livro "The	

Hydrogen Bond", por George C. Pimentel e L. Aubrey McClellan - 1960.	99
Figura 15 Escala de acidez.	106
Figura 16 Escalas relativas às forças ácidas e básicas	106
Figura 17 Representações do tipo letra/letra: (a) ácido sulfúrico; (b) álcool protonado.	108
Figura 18 Diferentes representações moleculares do tipo letra/bastão.	110
Figura 19 Representações do tipo M.P.E: a) M.P.E; b) M.P.E. justapostos com bola/bastão.	112
Figura 20 Representação dos conceitos de ácido e base segundo a teoria de Brønsted-Lowry.	118
Figura 21 Representações de reações ácido-base utilizadas na comunicação ácido-base segundo Lewis.	119
Figura 22 Reações ácido-base para representar o efeito da ionização.	121
Figura 23 Escalas sobre forças ácidas e básicas.	122
Figura 24 Compostos orgânicos que podem aceitar prótons por conter oxigênio: (a) álcool etílico protonado; (b) éter etílico protonado.	123
Figura 25 Acuidade em função do átomo ligado ao H ácido.	124
Figura 26 Representação dos conceitos de ácido e base segundo a teoria de Brønsted-Lowry.	125
Figura 27 Representação da transferência de prótons em uma reação ácido-base.	127

Figura 28 Representação da dissolução do hidróxido de sódio.	127
Figura 29 Representação do processo de solvatação de íons.	128
Figura 30 Presença dos íons espectadores na reação	129
Figura 31 Reações químicas para representar as definições de ácido e base segundo Lewis.	130
Figura 32 Reações ácido-base segundo Lewis.....	131
Figura 33 Representações do tipo Mapa de Potencial Eletrostático (M.P.E.) sem a utilização de cores	132
Figura 34 Representações em cores da reação entre BF ₃ e NH ₃	132
Figura 35 Reação ácido base.....	136
Figura 36 Expressão matemática para cálculo da constante de equilíbrio	136
Figura 37 Expressão matemática para cálculo da constante de acidez do ácido acético.....	137
Figura 38 Representações relativas às forças ácidas em relação ao pK _a de diferentes compostos.....	137
Figura 39 Tabela com a força relativa de ácidos e suas bases conjugadas.	138
Figura 40 Escala de força básica.	139
Figura 41 Escala de força ácida.....	140
Figura 42 Escala de eletronegatividade de alguns elementos químicos.	141
Figura 43 Escala de força de acidez.	142

Figura 44 Mapas de potencial eletrostático para representar a distribuição das cargas eletrônicas ao redor das moléculas...	142
Figura 45 Escala da força básica	145
Figura 46 Relação da força ácida e a disposição dos elementos na tabela periódica.	146
Figura 47 Efeito da hibridização sobre a acidez dos compostos.	147
Figura 48 Efeito da hibridização representada por mapas de potencial eletrostático.	148
Figura 49 Escala de acidez relativa dos hidrocarbonetos.	149
Figura 50 Escala da basicidade relativa dos carbânions.	149
Figura 51 Representações utilizadas para comunicar sobre os efeitos indutivos nos ácidos e base.	150
Figura 52 Representação dos efeitos indutivos na molécula.	150
Figura 53 Momento de dipolo do fluoreto de etila.	151
Figura 54 Representação de uma reação do tipo ácido/base.	153
Figura 55 Representação do tipo letra/letra de uma reação do tipo ácido/base.	154
Figura 56 Reação ácido-base segundo modelo de Lewis.	155
Figura 57 Reação ácido-base segundo modelo de Lewis.	156
Figura 58 Reações ácido- base.	157
Figura 59 Uma reação ácido-base entre um ácido genérico e a água, juntamente com a expressão matemática.	158

Figura 60 Equação matemática para o cálculo da constante ácida.	158
Figura 61 Exemplos de compostos orgânicos associados aos seus valores de pK_a	159
Figura 62 Metanol em reações ácido-base.	159
Figura 63 Ácido carboxílico em reações ácido-base.....	160
Figura 64 Amina em reações ácido-base.	160
Figura 65 Comparação de valores de pK_a de álcoois e aminas protonados ou não.	161
Figura 66 Relação do aumento da acidez devido à protonação de diferentes compostos.	162
Figura 67 Tabela com diferentes compostos e seus valores de pK_a aproximados..	163
Figura 68 Ácidos e bases fortes reagem para formar ácidos e bases fracas.....	163
Figura 69 Escala da eletronegatividade relativa de diferentes elementos químicos.	165
Figura 70 Escala das estabilidades relativas de algumas bases..	165
Figura 71 Escala de acidez relativa.	166
Figura 72 Tabela com valores de pK_a de alguns ácidos simples.	166
Figura 73 Explicação para o efeito que a eletronegatividade do átomo ligado a um hidrogênio tem na acidez do mesmo.	167

Figura 74 Representações da influência do tamanho do átomo na força ácida.....	168
Figura 75 Mapas de potencial eletrostático das moléculas de HF, HCl, HBr e HI monocromáticos (a) e coloridos (b) e (c).	169
Figura 76 Representações da influência dos diferentes íons na acidez das moléculas.....	171
Figura 77 Representação do efeito de indução em uma molécula.....	172
Figura 78 Representações de ácidos a fim de comunicar o efeito de um substituinte na acidez de uma substância.....	173
Figura 79 Conjunto de representações moleculares a fim de comunicar os efeitos da ressonância na acidez.....	174
Figura 80 Representação em cores de M.P.E. justaposto à bola/bastão.....	174
Figura 81 Reação ácido-base, entre o cloreto de hidrogênio gasoso e a água, contento diferentes tipos de representações moleculares.....	175
Figura 82 Reação ácido-base genérica.....	177
Figura 83 Dois exemplos de reações ácido-base.....	178
Figura 84 Reação ácido-base genérica segundo Lewis.....	181
Figura 85 Reação ácido-base com formação de um complexo ácido-base.....	183
Figura 86 Reação entre o trifluoreto de boro e éter etílico....	184
Figura 87 Exemplos de ácidos de Lewis.....	186

Figura 88 Reação ácido-base.....	187
Figura 89 Exemplos de bases de Lewis.	188
Figura 90 Exemplos de algumas representações de compostos presentes na reação do ácido acético com o ácido sulfúrico.	189
Figura 91 Equação para calcular a constante de equilíbrio... ..	191
Figura 92 Equação para calcular a constante ácida.	191
Figura 93 Tabela com relações de forças de ácidos e suas bases conjugadas.	192
Figura 94 Diferentes representações moleculares acompanhadas de seus valores de pK_a	194
Figura 95 Representações do tipo letra/bastão a fim de mostrar a alta densidade de carga formada no oxigênio da base conjugada.	195
Figura 96 Efeito de ressonância de um composto.	196
Figura 97 Efeito de ressonância de um composto.	197
Figura 98 M.P.E. de bases conjugadas originadas dos compostos.....	198
Figura 99 Comunicação de conhecimentos químicos por meio de livro-texto.	201

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relações tricotômicas e as nove classes de signos.	73
Tabela 2: Livros-texto selecionados para a análise.	92
Tabela 3: Percentual de cada tipo de figura presente nos livros-textos de química orgânica.	103
Tabela 4: Percentual de tipos de representações moleculares presentes nos livros-texto analisados.	104

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	29
1 Representações na Ciência.....	33
1.1 Representações Científicas na Comunicação dos Conhecimentos Científicos.....	35
1.2 Modelos e Representações na Busca da Realidade Química	40
1.3 Considerações sobre as representações moleculares e os conhecimentos químicos.....	44
1.3.1 Algumas considerações históricas.....	47
1.4 Olhares sobre os conhecimentos de ácidos e bases: um pouco de sua história e representações	50
2 A Semiótica Peirceana para compreensão das representações moleculares.....	59
2.1 Um pouco sobre a teoria semiótica de Peirce.....	61
2.2 A tríade sýgnica	66
2.2.1 Primeira tricotomia: o fundamento do signo	67
2.2.2 Segunda tricotomia: relação entre signo e o objeto	68
2.2.3 Terceira tricotomia: relação entre signo e o interpretante	72
2.3 Química e semiótica: aproximações	73
3 Metodologia.....	89
3.1 Das partes à análise.....	90
3.2 Revisitando algumas considerações sobre a semiótica peirceana.....	94
4 Análise das Representações Moleculares.....	99

4.1 Análises das áreas de mancha destinadas à introdução dos conceitos sobre ácidos e bases nos livros-texto selecionados	101
4.2 Tipos e porcentagens de representações moleculares presentes nas áreas de mancha analisadas.....	104
4.3 Representações Moleculares e seus graus de iconicidade	107
4.3.1 Representações do tipo letra-letra	108
4.3.2 Representações do tipo Letra/bastão e Lewis.....	109
4.3.3 Representações do tipo M.P.E. e M.P.E. justaposto à bola/bastão.....	111
4.4 Análise semiótica das representações moleculares utilizadas para comunicar os conceitos de ácido e base segundo Brønsted-Lowry, Lewis e as forças ácida e básica	117
4.4.1 Livro N° 1, “Química Orgânica” , dos autores Morrison e Boyd.....	117
4.4.2 Livro N° 2, “Química Orgânica” , dos autores Solomons e Fryhle.....	125
4.4.3 Livro N° 3, “Química Orgânica” , da autora Paula Bruice	152
4.4.4 Livro n° 4, “Química Orgânica Combo” , do autor John McMurry.....	175
Considerações Finais.....	201
Referências.....	205

INTRODUÇÃO

A principal origem desta pesquisa encontra-se no meu antigo e constante interesse em pensar, apreender e ensinar conceitos e saberes químicos por meio de representações, sejam elas científicas ou não. Em meus primeiros trabalhos, ainda como graduanda em Química, busquei aproximar artes plásticas e conceitos científicos, como disparadores para um estudo interdisciplinar. Nestes trabalhos, meus olhares foram para as representações de temas científicos presentes em obras de arte, como possibilidades para elaboração de abordagens interdisciplinares para o ensino de Química.

Ao final da minha graduação, conheci a teoria semiótica de Charles Peirce (1839-1914). Esta leitura despertou-me uma visão mais ampla sobre qual poderia ser o papel das representações dentro dos conhecimentos químicos, estimulando-me a buscar maior proximidade com o tema por meio de uma pesquisa como aluna de pós-graduação. Outra leitura que contribuiu para estimular minhas indagações a respeito das representações na ciência foi sobre o realismo científico, oriundo da epistemologia de Mario Bunge. Neste contexto, leituras referentes às compreensões sobre a utilização de modelos enquanto mediadores dos conhecimentos referentes à realidade científica, bem como sobre o processo de apreensão do mundo por meio de signos, me possibilitaram novas indagações, olhares e compreensões sobre o processo de construção dos conhecimentos científicos e o modo através do qual estes são articulados a fim de nos possibilitar acesso a partes de tal realidade.

Nesse momento, meu interesse sobre o representar no ensino de química se deslocou das representações artísticas, presentes em obras de arte, a fim de comunicar conceitos e a própria trajetória da construção da ciência, para representações científicas previamente arquitetadas, objetivando comunicar saberes relativos às teorias e saberes científicos. Como veremos, a linguagem da química, em especial da orgânica, é rica em processos representacionais, primeiramente pelo fato da necessidade dos mesmos para auxiliar nos processos de visualização entre o mundo macro e submicroscópico, e, no caso da orgânica, especialmente pelo fato das representações moleculares possibilitarem a comunicação e a manipulação dos conhecimentos sobre o peculiar mundo molecular.

Em especial, ao me reaproximar da química orgânica, devido à significativa relevância dos diferentes tipos de representações moleculares na constituição e comunicação dos conhecimentos dessa área da química, redimensionei meus entendimentos sobre as

representações moleculares com as quais tive “contato” ao longo da minha graduação. Ainda me recordo das inúmeras conversas com colegas de curso, entre um mecanismo reacional e outro, sobre a origem daqueles “desenhos”. O quão real seriam as representações moleculares? Seriam elas apenas uma ferramenta para compreender o que ocorre em uma reação química? Caso não fossem fidedignas a determinada molécula, o que definiria a constituição de uma representação molecular em específico? Agora percebo que discussões sobre a epistemologia da ciência e a forma com a qual se estrutura a linguagem da química poderiam ter auxiliado na busca por respostas para essas inúmeras questões que fizeram parte de minha graduação.

Ao me aproximar dos saberes relativos às representações na química orgânica, deparei-me com inúmeras pesquisas relatando realidades relacionadas com dificuldades nos processos tanto de ensino, quanto de aprendizagem de conhecimentos químicos pelo fato de que tanto os professores, quanto os estudantes, apresentam dificuldades no processo de decodificação desses conhecimentos comunicados por meio de representações moleculares, em especial, dentro da química orgânica, devido a seu alto grau de linguagem representacional. A confluência entre interesses de pesquisa e problemáticas no ensino de química, oriundas dos encadeamentos apontados, levou-me a questionar sobre como as representações moleculares – enquanto conjuntos de signos – são capazes de comunicar conhecimentos da química orgânica, bem como o modo como estas são articuladas em tais processos.

Em relação à escolha dos conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases como foco de estudo, a mesma se deu ao considerar a amplitude dos conhecimentos da área da química orgânica, bem como problemáticas apontadas por diferentes pesquisadores sobre lacunas e deficiências no ensino e aprendizado de teorias sobre ácidos e bases e os saberes relativos à tal área – química orgânica. Compreendendo ainda, que um dos principais meios de comunicação dos conhecimentos apontados, para o ensino superior, são os livros-texto, além do fato de tais meios de comunicação serem poucos investigados (SOUZA, 2012; ROZENTALSKI, 2013), temos como objetivo investigar **como as representações moleculares, enquanto conjuntos de signos, são utilizadas na comunicação dos conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases em livros-texto de química orgânica**. Isto posto, para auxiliar no percurso de busca por respostas a esse questionamento, este foi desmembrado em três partes específicas, que possuem referentes em todas as obras analisadas, a saber: *i) Como as representações*

moleculares são utilizadas na comunicação do modelo ácido-base de Browsted-Lowry?; ii) Como as representações moleculares são utilizadas na comunicação do modelo ácido-base de Lewis?; iii) Como as representações moleculares são utilizadas na comunicação dos conhecimentos relativos às forças ácidas e básicas?

Neste sentido, o principal objetivo desse trabalho foi investigar as articulações envolvidas no processo de comunicação de conhecimentos sobre ácidos e bases, por meio de representações moleculares, em livros-texto de química orgânica, identificando suas possíveis limitações e relevâncias para o ensino e aprendizagem nessa área do conhecimento científico. Assim, os objetivos específicos que sistematizaram o decorrer da pesquisa foram:

i) Elucidar a quantidade e os tipos de imagens não textuais presentes nos livros-texto selecionados, relativos aos conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases;

ii) Classificar e quantificar os tipos de representações moleculares encontradas nas áreas de mancha de figuras relativas à introdução dos conhecimentos de ácidos e bases;

iii) Categorizar, com base na primeira e segunda tricotomia de Peirce - ou seja, respectivamente, o fundamento do signo e a relação do signo com o objeto – as representações moleculares utilizadas na comunicação dos conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases;

iv) Analisar as relações entre signo e objeto presentes nas representações moleculares utilizadas, especificamente, na comunicação dos conhecimentos relativos aos modelos de ácidos e bases, segundo as teorias de Brønsted-Lowry e Lewis, e às forças ácidas e básicas das entidades químicas envolvidas.

Dessa forma, a seguir serão expostas as principais nuances e etapas que marcaram a realização da presente pesquisa acadêmica. Esperamos que as investigações aqui realizadas possam, além de contribuir para o diálogo sobre a temática entre os interessados por tais questões, auxiliar na construção de novos olhares para as representações no processo de ensino de conhecimentos químicos. Assim, essa dissertação está organizada da seguinte maneira:

No **Capítulo I**, serão apresentadas algumas das contribuições e a importância das representações científicas, enquanto linguagem imagética, para o processo de visualização científica. Traremos também, alguns olhares sobre modelos e representações científicas dentro do contexto das representações moleculares, enquanto constituintes da linguagem singular da química, bem como algumas considerações

históricas sobre tais representações. Por fim, serão destacados alguns olhares que envolvem o ensino e a aprendizagem sobre ácidos e bases. Em especial, abordaremos as diferentes concepções alternativas de estudantes sobre o tema.

No **Capítulo II**, será apresentada a teoria semiótica de Charles Peirce e os principais conceitos e pressupostos que a fundamentam e que se mostraram pertinentes à proposta dessa pesquisa. Em seguida, serão destacadas algumas aproximações entre química e semiótica, presentes em diferentes pesquisas dentro do ensino de química. Mais especificamente, as contribuições da semiótica para compreender os processos de comunicação de conhecimento químico por meio de diferentes estratégias comunicacionais.

Avançando na exposição do percurso realizado na efetivação da pesquisa proposta, o **Capítulo III** ilustra o caminho metodológico realizado, apresentando os passos efetuados e os fundamentos teórico-metodológicos que envolveram ou fundamentaram essa etapa. Ela é dividida em dois momentos principais: primeiramente, em uma postura majoritariamente quantitativa, refere-se à investigação das proporções da incidência de representações moleculares nas obras selecionadas, identificando a relevância de sua presença nesses contextos; e, em seguida, serão expostos os princípios metodológicos presentes na abordagem de tais representações à luz da teoria peirceana.

Diretamente atrelado ao anterior, o **Capítulo IV** é também organizado em dois momentos, e nele serão expostos os principais dados e resultados obtidos, acompanhados das discussões e reflexões acerca do modo como foram sendo articuladas as representações moleculares selecionadas no decorrer dos livros-texto em questão.

E, por fim, na tentativa de fornecer algum fechamento ao trabalho - mesmo que em alguma medida relativo, dada a dinamicidade do conhecimento e da prática científica - serão desenvolvidas algumas **Considerações Finais** acerca do contexto geral que permeou a pesquisa e o que de mais relevante foi identificado, bem como apontamentos das contribuições que, acreditamos, o trabalho foi capaz de fornecer a essa área do conhecimento.

1 REPRESENTAÇÕES NA CIÊNCIA

Figura 1 Um Experimento com Pássaro na Bomba de Ar - Joseph Wright of Derby (1768)



Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Joseph_Wright

Considerando que um dos destaques deste trabalho é evidenciar a importância da capacidade de compreensão e leitura de imagens não textuais, no processo de ensino e aprendizado de química, convidamos o leitor deste trabalho a esse exercício a partir das imagens apresentadas na abertura dos capítulos.

A primeira selecionada é o quadro “Um Experimento com Pássaro na Bomba de Ar” (figura 1) do pintor Joseph Wright of Derby. A cena expressa na obra mostra uma reunião científica noturna, que devido aos elementos representados na obra, como por exemplo, os hemisférios de Magdeburgo, uma pequena garrafa contendo uma cânula e um líquido, e a bomba de vácuo - enquanto principal elemento da cena – indicam que o assunto principal de tal reunião é a demonstração de experimentos relacionados às propriedades do ar. Conhecendo um pouco

sobre o contexto histórico que envolve tal cena, pode-se apontar que a presença de uma lua cheia não se dá por “acaso”. Pelo contrário, a lua é a homenagem que Derby presta aos membros da Sociedade Lunar de sua época que, com suas reuniões noturnas, já antecipavam os encontros científicos tão comuns nos dias de hoje (GORRI, SANTIN, 2009). Não caberia aqui a discussão mais detalhada de cada elemento representacional presente na cena, porém pode-se evidenciar que, neste caso, a possibilidade de representar determinado instrumento, conteúdos teóricos, dentre outros objetos, permite-se que seja comunicado, por meio de uma linguagem artística, um enredo referente – como já pontuado – aos experimentos e saberes relacionados às propriedades do ar. Porém, se faz necessário que além do contexto em que se insere determinada representação, o sujeito seja capaz de decodificar tais representações, para só assim ser capaz de compreendê-las e manipular as mesmas dentro da linguagem científica.

Para isso, apresentaremos neste capítulo algumas das contribuições e a importância das representações científicas enquanto linguagem imagética para o processo de visualização científica. Veremos que, dentro deste processo, os conceitos sobre representação científica e modelo científico se encontram para o início de uma discussão sobre o modo como os mesmos se apresentam e se relacionam na visualização científica. Tal discussão será ampliada no subtópico II, na medida que serão articuladas esclarecimentos sobre o significado de tais conceitos, a fim de se fazer compreender o que faz uma imagem poder ser considerada uma representação de uma parte da realidade científica.

Traremos, também, alguns olhares sobre modelos e representações científicas dentro do contexto das representações moleculares, enquanto constituintes da linguagem singular da química, bem como algumas considerações históricas sobre tais representações.

Por fim, apresentaremos considerações sobre a construção dos conhecimentos ácido e base no desenvolver da história, e alguns olhares sobre o ensino e a aprendizagem sobre ácidos e bases. Em especial, abordaremos as diferentes concepções alternativas de estudantes sobre o tema.

1.1 REPRESENTAÇÕES CIENTÍFICAS NA COMUNICAÇÃO DOS CONHECIMENTOS CIENTÍFICOS

Pesquisas recentes em educação científica (KLEIN; LABURÚ, 2009; SCHÖNBORN; ANDERSON, 2006; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006; GIL QUILÉZ; MARTINÉZ PEÑA, 2005) têm revelado que a integração de diferentes tipos de linguagens no ensino de ciências contribui significativamente para o processo de compreensão dos conhecimentos científicos. A diversidade na forma de se comunicar auxilia no desenvolvimento de significados sobre a realidade científica (KLEIN; LABURÚ, 2009).

Um exemplo dinâmico da presença de imagens para comunicar e construir conhecimentos científicos são os denominados processos de visualização científica. Para Jorge e Wartha (2013), a visualização científica é utilizada quando se busca representar dados brutos em forma de imagens. E, quando utilizada de maneira adequada, pode auxiliar tanto na análise visual de um conjunto de informações, quanto no desenvolvimento dos mecanismos cognitivos. Isto se deve ao fato de as visualizações científicas estimularem a percepção humana, bem como a rapidez do processamento visual. Os autores também pontuam que a visualização científica é uma forma de comunicação científica que vai além das aplicações e dos limites tecnológicos, ao passo que tal processo é dependente tanto das representações imagéticas externas, ou seja, representações de natureza física, quanto de representações imagéticas internas, ou representações mentais.

O processo de visualização científica é constituído pelas representações imagéticas materiais – externas – pode ser mediado por diferentes veículos, como as hipermídias, livros didáticos, desenhos esquematizados na lousa, softwares, simuladores, ou qualquer meio que utilize de recursos visuais imagéticos com o objetivo de comunicar conhecimentos científicos. Já os processos de visualização científica relacionados às representações internas são dependentes tanto do modo se apresentação das representações externas são apresentadas ao sujeito, quanto das estruturas que ele possui para interagir com tais representações, originando, assim, as representações mentais (SANTAELLA, 2012).

Bodner e Briggs (2005), interessados nos processos cognitivos dos estudantes, investigaram os processos de visualização mental na construção de conhecimentos químicos referentes a representações moleculares. Os autores conceberam a visualização molecular como um

processo mental organizado em cinco etapas: i) referenciais; ii) relações; iii) resultados; iv) regras/sintaxe; e v) operação.

Considerando que, para os autores, os objetos físicos ou modelos externos são concebidos como os referentes, e responsáveis pelas bases que orientam os sujeitos à construir representações mentais, a primeira etapa é relativa à utilização de uma referência para auxiliar os estudantes na visualização de relações espaciais das moléculas. Um exemplo é a ação dos estudantes ao escolherem determinado carbono da estrutura para utilizar como referência na rotação da molécula.

Já a segunda etapa é a continuação da primeira, ao passo que diz respeito à possibilidade dos estudantes extraírem e decodificarem conhecimentos relativos aos ângulos de ligação, valências atômicas e eletronegatividade, à medida que estabelecem relações entre as representações e os conhecimentos químicos relativos à realidade molecular.

Em relação à terceira etapa, os autores pontuam que esta diz respeito ao processo em que estudantes utilizarem-se de um objeto externo para a construção de um modelo mental.

Para a quarta etapa, Bodner e Briggs (2005) trazem que esta se refere à existência de uma regra ou sintaxe da estrutura da imagem mental, ou seja, a mesma – imagem mental – não é construída aleatoriamente por um conjunto de “pixels” mentais, pelo contrário, ela seria uma operação ordenada, responsável por fornecer sentido às informações visuais que nossos olhos captam. Um exemplo é a existência de uma lógica para se interpretar uma representação molecular tridimensionalmente, por meio de signos que se referem à posição em que determinado átomo se encontra, em relação ao observador, como no caso da utilização de sistemas de cunhas para indicar as orientações espaciais presentes em uma molécula. Os autores destacam que, nesta etapa, os participantes da pesquisa que não foram capazes de dar sentido à molécula, conseqüentemente não conseguiram visualizar a sua rotação. Esta discussão mostra a relevância da necessidade de compreender a lógica estrutural, na qual as diferentes representações são articuladas a fim de comunicar conhecimentos químicos.

Por fim, o quinto componente corresponde ao processo que possibilita visualizar uma mesma representação molecular por meio de diferentes tipos de representação. Por exemplo, a habilidade de um observador em visualizar mentalmente uma representação tridimensional com base em um referente bidimensional, grafado em um

papel. Para os autores, a vantagem de utilizar uma lógica ao se construir modelos mentais é a possibilidade de aprendermos por meio de nossas interações com o mundo. Sobre este olhar, não nos é custosa a energia mental despendida para compreender os conhecimentos da química, além de libertar-nos de resolver problemas ou construir modelos de modo repetitivo (BODNER; BRIGGS, 2005).

Ainda Bodner e Briggs (2005) destacam a importância do papel do professor como mediador na construção de relações entre os referentes externos e a construção de modelos internos pelos estudantes:

“Oh, eu vejo agora!” Esta não é apenas expressão, mas uma resposta semiótica, devido à forma como conceituamos a ação da visualização. A visualização inadequada pode causar representações inadequadas e levar a resultados incorretos. Esta é uma importante lição para os professores. Temos de ser muito cuidadosos com a forma e precisão com que nós ensinamos aos nossos alunos a construir e dominarem os conceitos sobre modelos mentais. Um modelo mental pode ter um impacto sobre o raciocínio para além do que se poderia esperar. (BODNER; BRIGGS, 2005, p. 9).

Em relação à aproximação conceitual entre modelos e representações, Fernandez e Marcondes (2006) apontam como fundamental a utilização dos modelos científicos para representar o conhecimento químico. E pontuam que sem o uso deles, a química ficaria reduzida a uma mera descrição de propriedades macroscópicas e suas mudanças. Porém, as autoras não abordam a natureza dos modelos e das representações, e nem o modo que estes se relacionam. A única consideração dessas autoras diz respeito à afirmação que modelos científicos utilizam representações.

Na mesma compreensão sobre a importância dos modelos, autores destacam a necessidade que o estudante de química, e conseqüentemente o químico, desenvolvam competências que possibilitem interpretar as inúmeras representações encontradas em livros didáticos, no cotidiano de laboratório e, também, na sala de aula. Essas habilidades, inerentes ao olhar e ao pensamento químico, são denominadas de “competências representacionais”. (KOZMA, 1999; 2000; KOZMA; RUSSELL, 1997).

Kozma e Russel (1997), retomando a existência das

representações internas e externas, colocam que é por meio destas que compreendemos os fenômenos da realidade química. Para os autores, todos os químicos devem ter a capacidade de interpretar, traduzir e manipular mentalmente as representações moleculares em diferentes níveis fenomenológicos. Mais uma vez relações são estabelecidas entre modelos e representações, sem maiores definições sobre tais conceitos.

Em relação às representações imagéticas, Wu e Shah (2004) realizaram uma revisão bibliográfica abordando: a) as relações entre habilidades visuais e aprendizado em Química; b) erros conceituais e dificuldades de compreensão sobre representações visuais; e, c) ferramentas de visualização para auxiliar nos processos representacionais. Por meio da análise dos artigos os autores concluíram que:

- Os erros e dificuldades conceituais apresentados pelos alunos sugerem que as representações químicas são construções conceituais (Hoffmann; Laszlo, 1991) que transmitem conhecimento conceitual;

- A visualização de representações químicas requer que sejam estabelecidas ligações cognitivas entre os componentes conceituais que envolvem o conhecimento substancial do conteúdo – compreendidas pelos autores como representações internas – e componentes visuais que envolvem codificação e interpretação dos símbolos e convenções – representações externas (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001);

- Devido ao fato dos componentes conceituais e visuais estarem ligados (PAIVIO, 1986), a utilização de diferentes tipos de representações visuais pode auxiliar na compreensão conceitual de conhecimentos químicos;

- De fato, a utilização de representações visuais pode auxiliar na compreensão mais profunda de conceitos e fenômenos científicos por parte dos estudantes. (AINSWORTH, 1999).

Nesse mesmo sentido, Cardoso e Moura (2008) apontam a importância de programas computacionais – enquanto veículos de representações – para o desenvolvimento do raciocínio visual/espacial. Nesse sentido, os autores reafirmam que a utilização de representações no processo de visualização molecular pode contribuir na comunicação e na construção de tais conhecimentos, ao passo que possibilitam uma melhor assimilação da teoria.

O intrigante é que, mesmo com tantas contribuições positivas da linguagem imagética e representacional da química nos processos de ensino e aprendizagem, dificilmente questões relacionadas às habilidades visuais são discutidas ou desenvolvidas, de modo

consciente, nas aulas de ciências (SCHÖNBORN; ANDERSON, 2006). Em parte isto se deve à concepção errônea de que tais habilidades visuais são adquiridas automaticamente, por meio da ação do sujeito com seu meio, ou mesmo pela falta de formação e posicionamento dos professores perante tal discussão.

Teruya *et al.* (2013) destacam a importância de elucidar as representações utilizadas nos processos inerentes ao ensino de química por meio de discussões com os estudantes: O que é uma representação? O que são as estruturas moleculares para a química? Qual a diferença entre uma representação e o objeto representado? Muitas vezes, a falta de compreensão do próprio conceito de representação pode ocasionar concepções inadequadas nos estudantes, como, por exemplo, a identificação da representação como o próprio objeto a ser representado.

Em muitos casos, os próprios professores apresentam dificuldades para decodificar os conhecimentos químicos por meio de modelos e linguagens visuais (TERUYA *et al.*, 2013), sejam estes veiculados por meio de hiperfídmias, simuladores, ou livros. Observando esse fato, Gois e Giordan (2008) apontam que é necessário, durante o processo de formação de professores de química, que estes se apropriem dos mecanismos desta linguagem e sejam capazes de compreender e construir significados por meio das diferentes representações. Lembramos também a necessidade do professor compreender o conceito de modelos na ciência (MACHADO, 2009).

Quase que inevitavelmente, ao se discutir representações moleculares surgirão questões relativas às representações enquanto modelos científicos, que utilizam em suas extensões – objetos-modelos, como veremos – de linguagem imagética. Um exemplo é o trabalho de Quiléz e Martínéz Peña (2005), que defendem a utilização de imagens como uma forma de motivar o processo de ensino e aprendizagem, bem como auxiliar no processo de compreensão de modelos científicos. Na pesquisa realizada por estes autores, foi investigado o modelo imagético do sistema Sol-Terra-Lua no aprendizado dos estudantes. Os resultados revelaram que as referidas ilustrações que acompanham os textos nem sempre facilitam o processo de aprendizagem. Além disso, quando solicita-se aos estudantes que representem tal modelo de sistema, eles não conseguem utilizar desenhos para apoiar sua exposição verbal ou escrita de uma ideia. Para os autores, a utilização adequada de imagens no processo de ensino e aprendizagem pode auxiliar o aluno a unir as representações de tal sistema com os conhecimentos envolvidos na questão.

Ampliando a discussão para além dos mecanismos representacionais na visualização científica, Araújo Neto (2009) concebe que as representações moleculares, constituídas historicamente na evolução da química, transcendem a função comunicativa dos conhecimentos desta ciência ao assumirem também uma função heurística. Isto se deve às características delas em poderem prever e explicar as propriedades das diferentes entidades químicas, sejam estas existentes ou não.

1.2 MODELOS E REPRESENTAÇÕES NA BUSCA DA REALIDADE QUÍMICA

Sendo as representações e os modelos tão presentes na arquitetura dos saberes químicos, bem como na comunicação dos mesmos, convêm-nos buscar algumas definições sobre o significado de tais conceitos, de maneira a compreender o que faz uma determinada imagem ser considerada uma representação de um objeto da realidade científica, bem como a relação desta representação com o modelo científico.

Segundo Abbagnano (2007), o vocábulo *representação* tem origem medieval e indica imagem ou ideia. O autor coloca que a utilização deste termo foi sugerida pelos escolásticos como sendo ‘algo’ semelhante a um ‘objeto’:

"Representar algo" — dizia S. Tomás de Aquino — "significa conter a semelhança da coisa" [...] Mas foi principalmente no fim da escolástica que esse termo passou a ser mais usado, às vezes para indicar o significado das palavras [...] 2.) Ockham distinguia três significados fundamentais: "Representar tem vários sentidos. Em primeiro lugar, designa-se com este termo aquilo por meio do qual se conhece algo; nesse sentido, o conhecimento é representativo, e representar significa ser aquilo com que se conhece alguma coisa. Em segundo lugar, por representar entende-se conhecer alguma coisa, após cujo conhecimento conhece-se outra coisa; nesse sentido, a imagem representa aquilo de que é imagem, no ato de lembrar. Em terceiro lugar, por representar entende-se causar o conhecimento do mesmo modo como o objeto causa o

conhecimento" (*Qiiodl.*, IV, q. 3). No primeiro caso, a R. é a *ideia* no sentido mais geral; no segundo, é a *imagem*; no terceiro, é o próprio *objeto*. Esses são, na realidade, todos os possíveis significados do termo, que voltou a ter importância com a noção cartesiana de ideia como "quadro" ou "imagem" da coisa (*Atéed.*, III) e foi difundido sobretudo por Leibniz, para quem a mônada era uma R. do universo [...] Kant estabeleceu seu significado generalíssimo, considerando-o gênero de todos os atos ou manifestações cognitivas, independentemente de sua natureza de quadro ou semelhança [...] e foi desse modo que o termo passou a ser usado em filosofia. (ABBAGNANO, 2007, p. 854-855).

Não só no âmbito das discussões sobre a apreensão de conceitos científicos, mas também nas definições trazidas por Abbagnano (2007), há uma compreensão de representação em pelo menos dois sentidos. Um em relação às representações externas, ou seja, ligadas às imagens, e outro sentido, relacionado às ideias, ao passo que essas podem ser consideradas representações internas. E em especial, na química, compreende-se que por meio das relações estabelecidas entre as representações internas e externas os químicos encontraram um caminho para se compreender e manipular a realidade por meio de modelos (GILBERT, 2005; BODNER; BRIGGS, 2005). Neste contexto, apresenta, mesmo que implicitamente, uma definição de modelo relacionado com a existência de representações, onde um modelo é considerado oriundo da relação entre representações internas e externas. E, ao passo que se considera separadamente apenas uma dessas esferas – internas ou externas – lida-se com representações, mas quando se empreende relações entre as mesmas para um determinado fim, tem-se um modelo.

Melo e Neto (2010) destacam que a utilização de modelos na construção da ciência, bem como no seu ensino, não é algo recente. Sabe-se que desde Galileu são utilizados modelos no processo do pensamento científico, influenciando, conseqüentemente, o próprio processo de compreensão e aprendizagem da ciência (CARDOSO; MOURA, 2008). Em inúmeros outros fenômenos da realidade científica os modelos científicos são utilizados para fornecer explicações e fazer previsões. As variadas funções e o importante papel dos modelos na ciência destacam-se também no universo da química, ao passo que

possibilitam representar do mundo macro ao mundo submicroscópico. Laszlo (1995) coloca que este tipo de modelo – o “modelo-químico” – permite que seja explicado tanto o visível pelo invisível, quanto o invisível pelo visível.

No contexto químico os modelos ganham destaque quando nos referimos ao processo de compreensão e manipulação do mundo molecular. Isso se justifica pelo fato da química ser considerada uma ciência que tem como base um paradigma funcional-estruturalista em que “as propriedades e transformações dos materiais podem ser satisfatoriamente explicadas pela teoria atômico-molecular” (GIORDAN *et al.*, 2004, p. 50).

Aprofundando mais na conceituação sobre modelos, Gilbert (2005) pontua que a utilização dos mesmos – modelos - funciona como uma ponte entre a teoria científica – realidade científica - e o mundo. Para ele os modelos podem auxiliar nas idealizações de uma realidade imaginada – estas com bases nas abstrações das teorias produzidas para compreensão da realidade e empregadas em explicações científicas dos fenômenos, ou seja, a realidade científica.

A relação entre representação e modelo pode ainda ser compreendida com base na teoria bungeana, na qual os modelos não assumem o papel de auxiliares do processo representacional da ciência, mas sim mediadores do processo de apreensão da realidade, que por sua vez, podem ser expressos por meio de representações, que segundo Bunge (1974) são denominadas de modelos icônicos.

Segundo Machado (2009),

uma teoria científica não se aplica diretamente ao objeto real ao qual se refere, mas a uma representação desse objeto real. Essa representação é chamada por Bunge de objeto-modelo [...] Embora seja uma versão idealizada e abstraída do objeto real, concebida de forma a representar apenas parte dos traços do seu referente, a construção dos objetos-modelo envolve operações que não são arbitrárias, mas sim objetivas, isto é, com uma intenção realista. (MACHADO, 2009, p. 29).

Em relação aos objetos-modelos, Bunge (1974) pontua que:

a conquista da realidade começa por idealizações: extraem-se os traços comuns de indivíduos

diferentes, agrupando-os em espécies: nasce o objeto modelo ou modelo conceitual de uma coisa ou um fato. Mas se faz necessário inserir este objeto-modelo em uma teoria, isto ocorre atribuindo-lhe propriedades suscetíveis de serem tratadas por teorias. É preciso imaginar um objeto dotado de certas propriedades que, amiúde, não serão sensíveis. O modelo conceitual negligenciará numerosos traços das coisas e afastará as características que individualizam os objetos. (BUNGE, 1974, p. 13-14).

Exemplificando o que seria a relação entre o objeto-modelo, o modelo teórico, e as teorias gerais, Pietrocola (1999) coloca que:

Quando suposições e dados especiais respeitantes a um corpo particular [objeto-modelo] são associados à mecânica clássica e à teoria clássica da gravitação [teorias gerais], produz-se uma teoria especial [modelo teórico] sobre esse corpo. Temos deste modo teorias lunares, teorias sobre Marte, teorias sobre Vênus, e assim por diante (Bunge, 1973, p. 54). Bunge coloca que esse processo teórico objetiva a interpretação de parte da realidade. Por ser sempre complexa, sua aproximação deve então ser obtida inicialmente através de simplificações (idealizações), onde classes de indivíduos equivalentes são elaboradas. Aos elementos pertencentes a essas classes atribui-se propriedades e características, que poderão então ser tratadas pelas teorias. Temos o nascimento dos elementos conceituais (ou objetos-modelo), que serão enxertados em teorias gerais e gerarão teorias específicas sobre o domínio real em foco. (PIETROCOLA, 1999, p.223).

Como pontuado por Pietrocola (2009), objetos-modelos necessitam ser enxertados em uma teoria geral, caso contrário os mesmos nada irão dizer sobre a parte da realidade em questão. O modelo teórico, por sua vez, é a mediação entre a teoria geral e o objeto-modelo – tendo como produto um sistema hipotético dedutivo. Desta forma, Machado (2009) pontua que por meio do modelo teórico é

possível representar tanto o comportamento, quanto os mecanismos internos do objeto-modelo a partir da teoria geral.

A autora ainda coloca que o modelo teórico sempre terá um caráter parcial e aproximativo devido ao “encaixe” do objeto-modelo na teoria geral. Deste modo, o modelo teórico negligenciará alguns aspectos do seu referente real, e empregará abstrações e idealizações em sua estrutura. Neste contexto, é incorreto afirmar que os modelos teóricos estejam inseridos na teoria geral, devido ao fato dos objetos-modelo não estarem contidos na teoria geral. Como o caso das representações moleculares, ao passo que essas representações do tipo visual são consideradas representações físicas constituídas com base em um modelo teórico, pautado em uma teoria específica – teoria atômica-molecular – que por sua vez se estrutura em uma teoria geral - teoria atômica.

1.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS REPRESENTAÇÕES MOLECULARES E OS CONHECIMENTOS QUÍMICOS

A química é considerada uma ciência complexa, tanto em relação à sua compreensão quanto ao seu ensino. Um dos fatores responsáveis por tal fato é a sua linguagem singular, utilizada como meio para apreender e comunicar a realidade química (LASZLO,1995; ROQUE; SILVA, 2008; HOFFMANN, 2007).

Segundo Habraken (1996), a química evoluiu de um conhecimento profundamente baseado em linguagem algébrica e verbal, característica das demais ciências, para uma linguagem pictórica internacional, na qual a percepção sobre o universo de partículas atômicas, moleculares e supramoleculares depende de memória, imaginação e processamento mental das informações visuais. Isso porque muitos fenômenos da química são inacessíveis pelos sentidos humanos, em alguns casos, mesmo após a intervenção de instrumentos científicos.

Hoffmann (2007) aponta que na química, o modelo é compreendido como “uma transformação simbólica da realidade”. É um processo que é ao mesmo tempo figurativo e linguístico. Figurativo em relação à ação de representar, e linguístico na medida em que comunica os conhecimentos químicos. Os processos representacionais têm a sua historicidade, ao passo que se compreende a evolução dos modos de representar entidades moleculares, contribuindo para o desenvolvimento de conhecimentos e teorias da química. Sendo estas consideradas

representações, embasadas em teorias científicas, elas podem ser compreendidas como um código compartilhado da ‘subcultura’ da química (HOFFMANN, 2007, p. 99).

Segundo Goodwin (2010), a química orgânica proporciona um terreno fértil para o estudo e a compreensão do papel das representações imagéticas no discurso científico. Os diagramas são considerados muito mais do que auxiliares heurísticos para expressar ou aplicar as funções de uma teoria linguística, e entre os vários tipos de diagramas presentes na linguagem da química orgânica, as fórmulas estruturais são as mais importantes. Para o autor, as fórmulas estruturais são resultados da evolução de uma sistematização de conhecimento, embasado em normas e convenções, e desempenham importantes papéis no pensamento do químico orgânico. Assim,

as normas que regem a geração adequada de fórmulas estruturais, evoluíram em resposta ao desenvolvimento da consciência da singularidade dos compostos químicos, ou seja, das propriedades destes compostos [...] as diferentes fórmulas estruturais, podem refletir ou codificar as compreensões dos químicos, sobre as suas investigações referentes ao mundo submicroscópico [...] Elas também são utilizadas como modelos químicos, a fim de explicar as propriedades físicas e químicas, por meio de suas características estruturais (GOODWIN, 2010, p. 621, 622).

Como visto, tanto Hoffmann (2007), quanto Goodwin (2010) compreendem como sendo o papel principal das representações moleculares comunicar as características das entidades moleculares da química. Para tal fim, não importa o critério de veracidade em relação ao objeto e sua representação, mas sim que determinada representação cumpra adequadamente as informações que se pretende comunicar, de modo que o compromisso com o ontológico seja suavizado.

O compromisso com o verdadeiro se torna menos questionável ao adotarmos a perspectiva da teoria semiótica – como veremos no próximo capítulo – juntamente com a compreensão bungeana de representações moleculares como exemplares de objetos-modelos. É importante, porém, lembrar que objetos-modelos e representações não são sinônimos, pois o fato de ambos não serem fielmente a realidade ou o próprio objeto não fazem deles a mesma entidade.

Em relação aos papéis das representações moleculares na apreensão dos conhecimentos químicos, na mesma compreensão trazida por Hoffmann (2007), Goodwin (2009) aponta que as fórmulas estruturais além de contribuírem positivamente para a construção de argumentos¹ e explicações em química orgânica, são utilizadas no processo de ensino desta ciência, ao passo que por meio destas é possível comunicar e apreender informações sobre o mundo molecular utilizando-se de diferentes símbolos². Segundo o autor:

As letras são usadas como símbolos atômicos (quer individualmente, por exemplo, 'H' para o hidrogênio, ou em conjunto, por exemplo, 'Si' para o silício), linhas retas são usadas como sinais para ligações químicas, e os pontos são usados para indicar elétrons [...]. Vários dispositivos suplementares (tais como as linhas escuras e tracejadas) são usados para indicar o correspondente tridimensional distribuição dos átomos [...]. A fórmula estrutural transporta informação sobre a composição e conectividade, de forma limitada através do arranjo tridimensional do composto, que se pretende denotar [...] fórmulas estruturais. (GOODWIN, 2009, p. 378-379).

Quando Goodwin (2009) assume que as fórmulas estruturais são nomes descritivos, ele faz referência à nomenclatura química segundo o sistema da IUPAC, pois, por meio dos nomes dos compostos podemos comunicar informações suficientes sobre a sua composição e conectividade. Porém, em inúmeras outras situações, apenas a utilização de fórmulas estruturais – ou nomenclatura escrita – não consegue comunicar determinado tipo de conhecimento, por exemplo, a espacialidade molecular, necessitando de outro meio para veicular tais

1 Segundo Passos Sá e Queiroz (2007), a argumentação é considerada uma atividade intelectual e verbal, que é utilizada para justificar ou refutar determinado fenômeno. Segundo as autoras, para argumentar se faz necessário pensar e escolher entre diferentes caminhos para justificar de maneira mais adequada a opção escolhida.

² O conceito de símbolo neste contexto não tem referência na teoria semiótica de Peirce.

conhecimentos, como as representações tridimensionais. Para o autor, as imagens – representações moleculares – podem desempenhar um papel importante no processo de argumentação, pois à medida que estas exploram as informações a partir do contexto, elas podem contribuir para a comunicação de proposições, desempenhando importante papel em premissas e conclusões.

1.3.1 Algumas considerações históricas

Apesar da linguagem imagética vinculada às representações moleculares terem sido desenvolvidas apenas no século XIX, grande parte do conhecimento molecular é oriunda da evolução dos saberes e interesses pertencentes ao século XVIII. As primeiras representações moleculares representavam os átomos por meio de bolas, e as ligações por meio de varetas.

Em especial, dentro da química orgânica, as relações estabelecidas entre os compostos químicos e as fórmulas estruturais auxiliaram em pelo menos dois pontos: i) permitiram exprimir informações que contribuíram para os primeiros resultados experimentais da Teoria Estrutural³ e ii) ao utilizarem as estruturas químicas para identificar propriedades de compostos químicos, os químicos puderam explicar inúmeros fenômenos da realidade química. Roque (2011) pontua que grande parte da química orgânica moderna pode ser considerada como resultado da ambição de nossos antepassados em entender a reatividade química dos compostos lançando mão de suas estruturas.

Em relação à Teoria Estrutural, Friedrich August Kekulé (1829-1896) desempenhou um papel central no estabelecimento da tetravalência do carbono e da capacidade do carbono de se organizar em cadeias, contribuindo, também, para a Teoria Estrutural ao passo que propôs uma estrutura para a molécula de benzeno. Kekulé também sugeriu que os compostos aromáticos seriam uma classe de compostos orgânicos estáveis, e que apresentariam grande concentração de átomos

³ A utilização de fórmulas estruturais, dentro dos conhecimentos da Teoria Estrutural, foi resultado da convergência de várias ideias e estudos desenvolvidos entre as décadas de 1850 e 1860. Aleksandr Butlerov (1828-1886) foi um dos primeiros defensores da existência de uma teoria estrutural na química. Em 1861, Butlerov afirmava que as fórmulas estruturais deveriam expressar as propriedades dos compostos, com base nas características dos mesmos.

de carbono e hidrogênio na sua estrutura. Estes ainda eram arquitetados em forma de um hexágono, o qual traria em seus vértices os seis átomos de carbonos conectados por ligações simples, em forma de bastões, e por ligações duplas, através de alternâncias das ligações duplas em ressonância. As seis valências restantes – uma de cada carbono – seria ocupada por átomos de hidrogênio, como no caso do benzeno. (GOODWIN, 2010).

Kekulé sofreu inúmeras pressões ao apresentar sua proposta da estrutura do benzeno à comunidade científica. Tais pressões estavam relacionadas à falta de consenso existente na década de 1860 e durante as décadas que se seguiram sobre a relevância e adequação da teoria atômica. Até o início do século XX, a ideia de átomo não era um consenso entre os químicos. (ROQUE, 2011). Esse período de acontecimentos apresentou muitos personagens e nuances que não serão discutidas neste trabalho.

Devido a estas circunstâncias, os químicos orgânicos foram cautelosos antes de alegarem correspondência entre uma fórmula estrutural desenhada em papel e uma entidade química por ser esta algo invisível e imperceptível aos sentidos humanos. Nas últimas décadas do século XIX surgiram as primeiras manifestações em defesa das fórmulas estruturais como um meio conveniente de mapear e resumir todo o conjunto de transformações que molécula poderia sofrer (Kozma, 2000). Segundo Wartha (2013), Berzelius (1779-1848) foi o responsável pela simbologia que utilizamos para a identificação dos elementos químicos, na qual é adotada a representação gráfica da primeira letra do nome latino de cada elemento e, quando necessário, utiliza-se uma segunda letra diferenciadora. Já Couper (1831-1892) foi quem introduziu a utilização de traços ou pontos para representar ligações químicas. As estruturas de Couper são representações de fórmulas estruturais planas, e podem apresentar até três tipos de ligações: simples, dupla ou tripla. As ligações covalentes são representadas pelos traços que unem dois ou mais átomos.

Outro olhar para as representações no ensino de química encontra-se no trabalho de Laszlo (1995). O autor assume as representações imagéticas como parte de uma possível estrutura da “língua da química”, e aponta que as representações permitem inúmeras conclusões sobre determinadas entidades químicas, com base em apenas observações qualitativas. O autor sugere que a estrutura do conhecimento químico é construída de maneira semelhante a uma

estrutura linguística, e propõe que as representações moleculares podem ser comparadas analogicamente às funções das palavras em uma frase.

Para Laszlo (1995), do mesmo modo que a lógica da heurística está para os problemas relacionados à estrutura da ciência, a linguística está para os fenômenos relacionados às línguas naturais. Para o autor, ambas compartilham da ação de observar e formular regras, sempre embasadas em uma razão. Elas também formulam e aplicam as exceções para definirem o domínio do campo que a regra suporta, bem como seus limites de validade. Os olhares heurísticos e linguísticos também possibilitam que por meio dele possam ser reforçadas as explicações da própria ciência e língua. Podem ser exemplos a semelhança da regra do carbono tetravalente a uma regra linguística, ou mesmo a relação que o autor faz entre as palavras e a simbologia da química.

Interpretamos que apesar de tanto Goodwin (2003; 2009; 2013), quanto Laszlo (1995) proporem a existência de uma estrutura lógica para a construção dos conhecimentos químicos por meio das representações moleculares, existe uma tênue, porém significativa diferença entre as compreensões dos dois autores sobre o conceito de representação, dentro da linguagem da química. O primeiro aponta para as representações preferencialmente imagéticas, e tem como foco descrever os fenômenos relacionados às explicações em química orgânica. (LABARCA, *et al.*, 2013). Já o segundo utiliza-se das lentes de um sistema linguístico, no qual os átomos, letras, moléculas e palavras, são compreendidas como entidades de um sistema binário que, segundo Correia (2008), resulta na emersão de significados.

Estas diferenças de olhares são importantes quando se busca esclarecimentos sobre os papéis das representações moleculares dentro da química. A perspectiva proposta por Laszlo (1995), aproxima-se assim da semiologia, ao passo que propõe a existência de uma “sintaxe química”. Segundo Romanini (apud LIZSKA, 2006), a grande diferença entre a semiótica e a semiologia é que a primeira é compreendida como uma ciência sinônima à lógica, enquanto a semiologia é compreendida como uma disciplina ligada a linguística.

Apresentadas algumas considerações que permeiam discussões sobre as representações dentro do conhecimento químico geral, trazemos no próximo subtópico, com base em nosso recorte de investigação, alguns olhares referentes aos conhecimentos ácidos e bases e as representações neste contexto químico.

1.4 OLHARES SOBRE OS CONHECIMENTOS DE ÁCIDOS E BASES: UM POUCO DE SUA HISTÓRIA E REPRESENTAÇÕES

As reações entre ácidos e bases são de extrema importância para a química orgânica. (VICHI; CHAGAS, 2008; SOLOMONS; FRYHLE, 2005). Dentre os motivos, destaca-se que estas reações são etapas iniciais de transformações mais complexas, bem como o fato de estarem presentes no metabolismo dos organismos vivos (ROQUE, 2011). Mesmo tendo sua primeira definição apenas no século XIX, o comportamento ácido - básico é conhecido desde a Antiguidade, na qual se originou o termo ácido, oriundo do latim, *acetum*, significando azedo, ácido. Na idade média definiu-se o termo sal, e também tendo origem etimológica no latim, *salis*, este significa sal marinho. Já o termo álcali, oriundo do árabe *al qaliy* - significando cinzas vegetais - surge na Idade Média e o termo base no século XVIII. Lembramos, ainda, do trabalho de Robert Boyle (1626-1691), no século XVIII, que buscava substâncias que poderiam ser utilizadas como identificadores de ácidos e bases. Um exemplo foi a utilização do Pau-Brasil como indicador.

A primeira definição de ácido, dentro da química, é oriunda dos estudos realizados por Arrhenius (1859-1927), no final do século XIX. Ela compreende que uma substância, quando dissolvida em água, apresenta o caráter ácido por ser capaz de liberar íons H^+ (núcleo de átomo de hidrogênio), e uma substância básica é caracterizada por liberar OH^- . Por exemplo, com base na teoria de Arrhenius, em uma solução aquosa, o cloreto de hidrogênio (HCl) se comportaria como um ácido ao liberar os prótons H^+ , e o hidróxido de sódio (NaOH), é considerado uma base por liberar íons OH^- . O conceito de Arrhenius é aplicável apenas em solução aquosa, não sendo viável, portanto, para substâncias orgânicas, insolúveis em água. (ROQUE, 2011). Mesmo sendo restrita apenas às substâncias solúveis em água, ela conseguiu explicar um grande número de fenômenos já conhecidos, além de ter provocado o desenvolvimento de várias linhas de pesquisa dentro da química. Um exemplo é a sua contribuição no estabelecimento das bases científicas da química analítica. (CHAGAS, 1999).

Porém, a medida que os estudos foram se desenvolvendo, esta teoria revelou-se incapaz de dar conta das questões levantadas pelos cientistas. “Da crítica à teoria de Arrhenius surgiram outras duas novas: a teoria protônica (1923) e a *teoria dos sistemas solventes* (1920). Estas, por sua vez, se desenvolveram e passaram pela mesma situação (CHAGAS, 2000, p. 23).

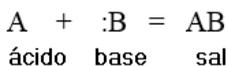
A Teoria protônica foi desenvolvida e proposta, independentemente, por Lowry (Inglaterra) e Brønsted (Dinamarca). O último foi um dos que mais contribuiu para o desenvolvimento da mesma (CHAGAS, 1999). Considerando os devidos méritos, esta teoria ficou conhecida como Brønsted-Lowry. Ela define um ácido como uma substância doadora de próton (H^+), e uma base sendo uma substância que recebe próton. (MCMURRY, 2011). Segundo esta teoria, uma reação de neutralização seria uma transferência de prótons entre um ácido e uma base, ou seja, uma reação de dupla troca.

Englobando as definições de ácidos e bases de Arrhenius e de Brønsted-Lowry, a teoria proposta por Lewis amplia os conceitos para espécies químicas que não possuem átomos de hidrogênio (ROQUE, 2011). Lewis (1875-1946) apresentou, em 1923, sua primeira proposta para a teoria de ácidos e bases, que tem como premissa as espécies químicas realizarem transferência de pares eletrônicos, a fim de explicar a formação das ligações químicas. Esta teoria, apesar de ser abrangente, não foi bem aceita entre os químicos da época na primeira tentativa.

A teoria eletrônica, ou a teoria de ácido e base de Lewis, considera que um ácido seja qualquer espécie capaz de receber um par eletrônico, e conseqüentemente, uma base é a espécie capaz de doar um par eletrônico.

Lewis, com o objetivo de auxiliar nas compreensões das reações químicas, propôs escrever as fórmulas químicas representando todos os seus elétrons de valência por meio de pontos (.). Um exemplo de uma reação genérica de neutralização ácido-base:

Figura 2 Representação de uma reação genérica de neutralização.



Fonte: adaptado Chagas (2000)

Uma maneira simplificada, e muito utilizada no cotidiano dos químicos, é substituir os dois elétrons de uma ligação covalente por um traço. Desta forma, apenas os elétrons não ligantes são representados por pontos. Vejamos alguns exemplos:

Figura 3 Três modos de representar a molécula de dióxido de carbono.



Fonte: Chagas (2000)

As reações de neutralização ocorridas, segundo a teoria de Lewis, são concebidas como reações de síntese, pois o par eletrônico doado da base possibilita a formação de um sal ou complexo em que o par eletrônico é compartilhado.

Chagas (2000) destaca que a teoria ácido base foi aplicada inicialmente no estudo das reações orgânicas, com Lowry, Robinson, Ingold e Lapworth, e na Química de Coordenação, com Sidwick – ambas situações ocorridas na Inglaterra. O autor ainda traz o contexto em que Lewis, retorna aos estudos sobre ácidos e bases, em 1938. Na ocasião, Lewis, apresentou em uma conferência, critérios fenomenológicos macroscópicos para o comportamento das substâncias ácidas e básicas:

A reação entre um ácido e uma base (neutralização) é rápida; 2) Um ácido (ou uma base) pode deslocar um ácido (ou uma base) mais fraco de seus compostos; 3) Ácidos e bases podem ser titulados um com o outro por meio de indicadores. 4) Ácidos e bases são capazes de atuarem como catalisadores (CHAGAS, 2000, p. 23).

Lewis, também uniu aos critérios fenomenológicos, a interpretação do mundo molecular. Como pontua Chagas (2000), este novo olhar ampliou a compreensão sobre os fenômenos relacionados aos conhecimentos de ácido e base a sua teoria, e tal fato fez a teoria de Lewis “decolar”.

Em seu trabalho, Chagas (1999) dispõe, em ordem cronológica, a introdução às principais teorias envolvidas na construção dos conceitos sobre ácido e base. As primeiras definições foram estabelecidas pela teoria de Arrhenius (1887); depois desenvolveu-se a teoria dos sistemas solventes (1905); a protônica (1923); eletrônica (1923), de Lux (1939), de Usanovich (1939), ionotrópica (1954), e por fim as críticas tecidas por Werner (1895 a 1911).

Vichi e Chagas (2008) destacam que atualmente pode-se considerar as teorias ionotrópica e a do par eletrônico como sendo as duas principais teorias capazes de explicar o comportamento ácido-base das substâncias. A teoria do par eletrônico, neste caso, é a referente à teoria de Lewis, e a ionotrópica é uma teoria ampliada dos preceitos da teoria de Brønsted-Lowry (próton), Lux (óxido) e outras. Ao investigarem qual a maneira mais adequada de se medir a força⁴ de um ácido e de uma base, os autores constataram que não existe apenas um modo, pois esta questão é dependente do tipo de teoria utilizada no contexto, bem como as técnicas de medidas disponíveis. A seguir veremos dois possíveis modos de compreender as forças ácidas e básicas.

Segundo suas análises, Vichi e Chagas (2008) consideraram que na teoria ionotrópica, na qual ocorre reação do tipo dupla-troca, acontece uma quebra na ligação entre o próton e um elemento, e a formação da ligação entre o mesmo próton e um outro elemento. Desta forma, a variação de entalpia será pequena, ou seja, $\Delta rH \cong 0$, mesmo sendo fortes as ligações presentes na reação, ao passo que a quebra de uma -processo endotérmico- é compensada pela formação da outra ligação - processo exotérmico. Devido às características envolvidas neste tipo de reação, a posição de equilíbrio correspondente à reação de neutralização é a maneira mais conveniente de medir a força relativa de bases em relação a um ácido ou vice-versa. (VICHÍ; CHAGAS, 2008, p. 1592).

Diferentemente da teoria ionotrópica, na teoria do par eletrônico ocorre uma reação de síntese, ou seja, há a formação de uma nova ligação, e a força ácido/base passa a ser proporcional à estabilidade da ligação formada. Desta forma, a investigação das forças ácidas e básicas ocorre por meio da caracterização das ligações estabelecidas na reação. Esta caracterização poderá ser realizada por meio da medida de ΔrH ou outro parâmetro que caracterize uma ligação química. Por exemplo, a distância interatômica, densidade eletrônica, etc. (VICHÍ, CHAGAS, 2008).

Considerando todas as pontuações sobre a importância das representações moleculares que permeiam os processos de construção,

4 É importante destacar que o conceito força, neste caso, não faz referência ao mesmo utilizado em Mecânica. Em relação às substâncias químicas, considera-se como força de um ácido ou de uma base a intensidade ou o valor (maior ou menor) de uma propriedade característica das mesmas.

comunicação e apreensão dos conhecimentos químicos, destaca-se a observação de que os artigos utilizados para discutir a evolução e as consolidações sobre os conhecimentos relacionados aos ácidos e bases não trouxeram para discussão, de maneira pontual, o papel das representações moleculares no processo de construção de tais conhecimentos. Por exemplo, ao ser concebida a existência de mais de uma maneira de medir as forças de ácidos e bases, conseqüentemente existirão distintas formas de se representar visualmente tais conhecimentos. No caso da teoria ionotrópica, poderiam ser valorizadas as representações moleculares que representassem a quebra de uma ligação entre o próton e um ácido, e a formação da ligação do próton e uma base. Ou seja, o deslocamento do próton ao longo de uma reação. Já na teoria do par eletrônico, a caracterização das ligações poderia ser realizada por meio de mapas de potencial eletrostático, ao passo que este tipo de representação possibilita-nos visualizar a densidade eletrônica de uma molécula. Uma forma de representação mais simplificada é a estrutura molecular de Lewis, que nos permite visualizar se os átomos de uma molécula ou de um íon apresentam carga formal negativa ou positiva⁵.

Em relação ao ensino e aprendizagem dos conceitos acerca de ácidos e bases, Fernandez *et al.* (2008), identificaram que os estudantes apresentam dificuldades em justificar as forças de ácidos e bases, apresentando explicações equivocadas e mecânicas. Os autores apontam que a maior dificuldade dos alunos é relacionada com a linguagem química presente nos conhecimentos investigados. Eles destacam que os professores precisam auxiliar na tradução desta linguagem tão peculiar, para que só assim possam promover a aproximação gradual dos significados presentes nesta linguagem e os estudantes.

Outro exemplo da preocupação com o aprendizado dos conhecimentos sobre ácido e base foi o trabalho desenvolvido por Callone e Torres (2013). Ele retoma as concepções alternativas pertencentes aos alunos de graduação em química, identificada em seus trabalhos anteriores, em relação ao tema ácido-base, expressas por meio de diferentes sistemas semióticos. Segundo o autor, as concepções alternativas que surgiram são:

5 A carga formal em uma molécula é referente à tendência para o acúmulo de carga elétricas, positivas ou negativas.

1) A solução de um ácido forte é mais concentrada do que a de um ácido fraco (desenharam uma solução de ácido forte com mais partículas que a do ácido fraco, mesmo as soluções possuindo uma concentração molar igual); 2) Não há diferença entre o ácido forte e o ácido fraco (realizaram o mesmo desenho de soluções de ácido forte e fraco com a mesma concentração molar); 3) As ligações intermoleculares seriam mais intensas entre as molécula de um ácido forte do que em um ácido fraco (desenharam as partículas mais próximas no ácido forte do que em ácido fraco); 4) a solução de um ácido fraco é aquela que tem quantidades iguais de moléculas de ácido forte mas estas não sofrem ionização; 5) A concentração molar dos íons hidrônio, das soluções de ácidos fortes e fracos é a mesma se a concentração da preparação de ambas soluções forem as mesmas; 6) O ácido forte é aquele que apresenta ligações intramoleculares mais fortes que os ácidos fracos (desenharam as partículas do ácido forte unidas, enquanto as do ácido fraco, desenharam ionizadas) (Callone *et al.*, 2008); 7) Nos ácidos forte a concentração de íon hidrônio é maior que nos ácidos fracos; 8) O ácido forte se dissocia totalmente e por isso terá menos quantidade de partículas (íons e moléculas) em solução; 9) O ácido forte é reconhecido como uma solução em cuja representação icônica aparecem moléculas de ácido (HA) sem ionizar; 10) A dissociação é interpretada como desaparecimento de partículas (os alunos utilizaram o termo dissociação como sinônimo de ionização em concordância com os textos tradicionais de Química Geral nos quais se falavam por exemplo, o “grau de dissociação” dos ácidos fracos); 11) o ácido forte é o de maior acidez (ALÍ+ *et al.*, 2012). (CALLONE; TORRES, 2013, p. 290).

O autor coloca que as possíveis causas das concepções alternativas apresentadas são, em partes, de origem tanto epistemológica, quanto ontológica. A primeira se relaciona com as associações de conceitos por semelhança ou igualdade na sua terminologia, na redução funcional, e no pensamento analógico. Já a de

origem ontológica está relacionada ao fato dos estudantes categorizarem os ácidos em nível submicroscópico como objetos e não como sistemas de interação e de origem conceitual, como a falta de conhecimento sobre a diferença entre os conceitos de ionização e dissociação com base na teoria de ácido-base de Brønsted-Lowry, vistas no primeiro ano da graduação. O autor ainda destaca que tais concepções também estão relacionadas ao fato dos alunos apresentarem problemas no momento de interpretar as representações expressas em diferentes sistemas. (CALLONE; TORRES, 2013 apud CALLONE *et al.* 2006; TORRES *et al.*, 2009).

Dando continuidade às suas investigações sobre as representações e os conhecimentos sobre ácido-base, Calone e Torres (2013) se propôs à investigar como os estudantes interpretam diferentes representações da química, com base em diferentes registros – simbólico, verbal e em um teste de múltipla escolha – todos versando sobre o tema equilíbrio ácido-base.

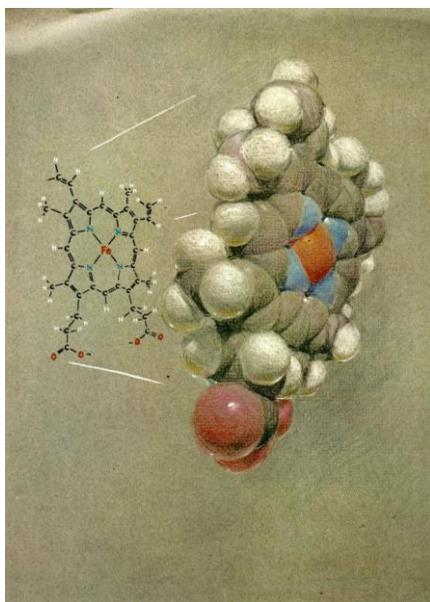
Com base nos dados coletados, Callone e Torres (2013) retomou uma das concepções alternativas apresentadas anteriormente em relação à afirmação de que “As ligações intermoleculares seriam mais intensas entre as moléculas de um ácido forte do que em um ácido fraco”, e concluiu que tal concepção teria origem na associação de conceitos por semelhança em sua terminologia de origem epistemológica. Outra concepção, também identificada pelo autor, é em relação ao fato de que “a acidez é a concentração inicial da solução ácida e não a força do ácido”. Esta concepção também apresenta origem epistemológica, ao passo que ocorre uma redução funcional do conceito pelos estudantes.

O autor também coloca que existe maior coerência na interpretação dos registros semióticos utilizados quando os estudantes respondem corretamente, do que quando eles fazem de maneira incorreta. Por fim, Callone e Torres (2013) valida, com a triangulação dos resultados obtidos nos diferentes instrumentos utilizados, outras concepções alternativas que os estudantes sustentam. A primeira está relacionada com a ideia de que “o ácido forte se ioniza pouco ou não se ioniza porque entre seus átomos existe uma ligação química forte” e a segunda é em relação à ideia de que “a acidez é a única função da concentração inicial do ácido e não da força ácida”. As origens de tais concepções seriam de caráter epistemológico, à medida que “a associação de conceitos por sua terminologia (ácido forte – ligação forte) e a redução funcional (dependência de uma variável) respectivamente”. (CALLONE; TORRES, 2013, p. 296).

Após termos tecido alguns olhares sobre as representações, enquanto objetos modelos da ciência, presentes nos processos de construção e comunicação de conhecimentos científicos – com especial atenção para as representações moleculares e os conhecimentos químicos no contexto da química orgânica –, iniciaremos, no próximo capítulo, esclarecimentos sobre a semiótica peirceana com o intuito de compreender as engrenagens dos processos representacionais existentes na comunicação de conhecimentos químicos, sob o olhar desta teoria.

2 A SEMIÓTICA PEIRCEANA PARA COMPREENSÃO DAS REPRESENTAÇÕES MOLECULARES

Figura 4 Desenho em giz pastel de Roger Hayward da estrutura molecular do grupo hemo.



Fonte: "The Architecture of Molecules", de Linus Pauling, 1963

Encontramos na obra de Hayard⁶ (1899-1979) dois tipos de representações moleculares utilizadas para representar o grupo hemo. Uma composta por letras e bastões – traços pretos – representando os átomos e as ligações químicas, respectivamente. E a segunda, composta por esferas e semiesferas, representando o volume de cada átomo

⁶ Roger Hayward foi artista, arquiteto e inventor. Trabalhou por muito anos na revista Scientific American e colaborou com Linus Pauling (1901-1994) em trabalhos sobre estruturas químicas. Em 1950, Pauling publicou um livro para o ensino superior, em que todas as ilustrações foram realizadas por Hayward. Seus desenhos representacionais para as estruturas químicas, além de adequados aos conceitos científicos, apresentam grande refinamento estético.

presente na molécula, distinguindo os tipos de átomos por meio de diferentes cores.

Considerando o contexto geral que esta obra é apresentada – dentro de uma comunidade química – levantamos alguns questionamentos sobre a mesma enquanto representação molecular. Por exemplo, o que habilita, capacita, as imagens de Hayard a serem consideradas como representações de uma molécula em específico? E ainda, como duas imagens diferentes podem ser consideradas representações de uma mesma molécula?

A fim de esclarecimentos sobre essas e outras questões relacionadas aos processos representacionais envolvidos na comunicação da realidade molecular, iniciamos este capítulo com a apresentação da semiótica peirceana como sendo uma teoria sófica capaz de auxiliar na construção e na comunicação de conhecimento sobre o mundo, por meio das três categorias fenomenológicas instituídas por Peirce. Categorias estas que trazem em si as maneiras mais universais que os fenômenos se apresentam.

Em um segundo momento, abordaremos a tríade semiótica como sendo um processo mediador entre um intérprete e um fenômeno a ser apreendido ou comunicado. Veremos que esta é composta por um signo capaz de representar um objeto ao desenvolver um interpretante. O processo de representação dentro da tríade semiótica também será investigado, ao mesmo tempo em que se avança sobre o olhar para as relações triádicas dos signos, em especial os processos ocorridos entre o signo em si, e entre o signo e o objeto que representa, ou seja, a primeira e a segunda tricotomias.

Por fim, teceremos algumas aproximações entre a química e a semiótica presentes em diferentes pesquisas dentro do ensino de química. Abordaremos especialmente as contribuições da semiótica para compreender os processos de comunicação de conhecimento químico por meio de diferentes estratégias comunicacionais. Tais contribuições podem justificar a escolha do ilustrador científico Hayward em utilizar dois tipos diferentes de representação molecular para representar o grupo hemo.

Esperamos que este capítulo sirva como estruturador de conhecimentos que serão utilizados e articulados no processo de análise das representações selecionadas em cada livro-texto.

2.1 UM POUCO SOBRE A TEORIA SEMIÓTICA DE PEIRCE

Charles Sanders Peirce (1839-1914) nasceu em Cambridge, Massachusetts, EUA, e constituiu-se profissionalmente como sendo químico⁷, físico e matemático, apresentando, também, interesses em diferentes áreas do saber – artes plásticas, linguística, topografia, geodésica, línguas, etc.

Segundo Santaella (2002), apesar da diversidade de interesses pelas distintas áreas do conhecimento, Peirce sempre teve a Lógica como fio condutor de suas investigações, em especial, a lógica das ciências. A autora coloca que Peirce ainda foi conhecedor profundo dos pensadores gregos, empiristas ingleses, da lógica escolástica e dos idealistas. Por sua vez, o interesse pela lógica levou Peirce, aos 28 anos, a publicar, dentre inúmeros trabalhos, uma lista de categorias relacionadas aos processos de conhecimento sobre o mundo. Esta lista foi resultado de um trabalho minucioso, ao longo de dois anos, que trouxe de maneira organizada as categorias mais universais de todas as experiências possíveis (SANTAELLA, 2000), a fim de poder compreender os princípios fundamentais de todo e qualquer conhecimento (SOUZA, 2012).

Como ponto de partida, sem nenhum pressuposto de qualquer espécie, Peirce voltou-se para a experiência ela mesma. Como entidade experienciável (fenômeno ou *phaneron*), considerou tudo aquilo que aparece à mente [...] Fenômeno é qualquer coisa que aparece à mente, seja ela meramente sonhada, imaginada, concebida, vislumbrada, alucinada [...]. Enfim, qualquer coisa (SANTAELLA, 2000, p. 22).

Com os resultados das investigações sobre o modo que os fenômenos se apresentam à experiência, Peirce agrupou os elementos

⁷ Segundo Romanini (2006, p. 33), o lado naturalista de Peirce, juntamente com suas práticas relacionadas à sua formação enquanto químico, geodésico, e suas práticas de desenhar e realizar experimentos, influenciaram o desenvolvimento de sua teoria semiótica.

presentes em todos os fenômenos em três categorias universais⁸, e também traçou o modo através do qual percebemos a realidade por meio do processo de percepção⁹. Estas foram elencadas como as categorias mais elementares e gerais. Tão gerais que podem ser vistas como tons, humores ou finos esqueletos do pensamento, assim, não se constituindo como noções definidas. São pontos aos quais todos os fenômenos devem convergir. (SANTAELLA, 2000, p. 8).

Santaella (2002) descreve que após as várias denominações destinadas às categorias fenomenológicas, Peirce denominou-as de *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade*. Para Peirce,

a primeiridade aparece em tudo que estiver relacionado com acaso, possibilidade, qualidade, sentimento, originalidade, mônada. A secundidade está ligada às idéias de dependência, determinação, dualidade, ação e reação, aqui e agora, conflito surpresa dúvida. A terceiridade diz respeito à generalidade, continuidade, crescimento, inteligência [...]. A forma mais simples da terceiridade manifesta-se no signo [...]. O signo é um primeiro (algo que se apresenta à mente), ligando um segundo (aquilo que o signo indica, se refere ou representa), a um terceiro (o efeito que o signo irá provocar em um possível intérprete) (SANTAELLA, 2002, p. 7).

Em relação ao modo com o qual se é capaz de aprender tais fenômenos, Peirce coloca que o mesmo ocorre por meio dos processos de semiose. Souza (2012) descreve que, para Peirce, o processo de semiose é estruturado em “uma tríade composta pelo *signo*, que, ao representar determinado *objeto*, gerará um *interpretante* naquele com quem se relaciona” (SOUZA, 2012, p. 64). Para Peirce, um signo é

qualquer coisa que conduz alguma outra coisa (seu *interpretante*) a referir-se a um objeto ao qual

⁸ Deve-se lembrar, porém, que tais categorias não devem ser consideradas como entidades puras, ao passo que estas podem coexistir na ação de apreensão dos fenômenos da realidade.

⁹ Uma discussão mais aprofundada sobre os conhecimentos relacionados à percepção pode ser encontrada em Mucelin e Belini (2008) e Wartha (2013).

ela mesma se refere (seu objeto), de modo idêntico, transformando-se o interpretante, por sua vez, em signo, e assim sucessivamente *ad infinitum* (PEIRCE, 2010, p. 74).

Em relação ao signo, Santaella (2000) coloca que ele é, de modo geral,

qualquer coisa de qualquer espécie, imaginada, sonhada, sentida, experimentada, pensada, desejada [...] pode ser um signo, desde que esta ‘coisa’ seja interpretada em função de um fundamento que lhe é próprio, como estando no lugar de qualquer outra coisa. Ser um signo é ser um termo numa relação triádica específica (SANTAELLA, 2000, p. 91).

Já “qualquer outra coisa” que é representada para um intérprete pela mediação do signo é o objeto do signo da tríade semiótica (SANTAELLA, 2000). Esta, por sua vez, é então composta pelo signo, objeto e interpretante. Sobre as entidades triádicas, Romanini (2006) coloca que

o objeto é aquilo que o signo professa representar, mas só consegue fazê-lo de maneira imperfeita. A relação com um objeto parece ser a “razão de ser” do signo, cuja função é exatamente se colocar no lugar no objeto que professa representar, incorporar a sua forma, para então a transmitir ao interpretante (ROMANINI, 2006, p. 92).

Peirce é muito enfático ao conceber o interpretante não apenas como um outro signo, mas como um terceiro elemento da tríade semiótica (SANTAELLA, 2000), ou seja, o interpretante, que é um signo de outra natureza, é dependente do signo, que por sua vez é dependente do objeto, de modo que o interpretante é dependente, ainda que indiretamente, do objeto.

Sobre o interpretante, Romanini (2006) pontua que este

é a principal diferença da semiótica peirceana frente a outras teorias que levam em consideração apenas a relação signo-objeto. Para Peirce, não é possível haver significado sem que haja a produção, por parte do signo, de um interpretante

que se apresenta como um *outro* signo resultante da ação do primeiro. Em outras palavras, o objeto determina o interpretante apenas por meio do signo, mas o signo tem o poder de determinar o interpretante diretamente. A interpretação é uma propriedade essencial para a semiose, pois a sucessão dos interpretantes garante a evolução do signo em direção a uma verdade plena, que é movimento da *informação* e *significação* (ROMANINI, 2006, p. 94.).

Quando Peirce expandiu as definições e elucidações sobre cada entidade de sua tríade e sobre os modos como estas se relacionam dentro dela, o objeto passou a ser compreendido como sendo de dois tipos: o objeto dinâmico e objeto imediato. Enquanto que o interpretante passou a ser distinguido por meio de três tipos: imediato, dinâmico e final. O signo deixou de interagir diretamente com seu objeto e interpretante, agora, essas relações são mediadas pelo objeto e interpretante imediatos. O objeto da realidade foi denominado de objeto dinâmico, bem como a entidade oriunda da relação signo/objeto dinâmico passou a chamar-se de interpretante dinâmico.

Segundo Peirce, estando o objeto dinâmico fora do signo, ele é considerado como o objeto da realidade. É o que determina o signo. Porém, o objeto só pode determinar o signo pois existe algo dentro do próprio signo que permite se referir ao objeto que se encontra fora dele. Assim, as diretrizes de como será arquitetado tal signo origina-se no objeto imediato que, por sua vez, traz em si recortes do objeto dinâmico a fim de representar o objeto ao intérprete (ROMANINI, 2006).

Santaella (2010) destaca a importância de não confundir interpretante com intérprete. Com base em Peirce, um interpretante é considerado resultado da ação de um fenômeno na mente interpretativa e é pertencente ao processo de significação sobre o mundo. Já um intérprete é o portador de uma mente interpretadora. Ele é um “alguém” – termo muito utilizado nos textos de Peirce – capaz de decodificar tais signos. A autora ainda destaca que, ao se referir à mente, Peirce não se refere exclusivamente à mente humana, mas sim a qualquer processo que apresente uma estrutura lógica capaz de engendrar processos de comunicação e interpretação por meio de signos. Um exemplo, na contemporaneidade, são os computadores, sendo estes considerados como “mentes intérpretes” de linguagens de programação computacional, nos quais um objeto que pretende se comunicar por

meio de uma tela de computador, sejam representados por meio de signos, que por sua vez são interpretados pelo intérprete, sendo neste caso o computador.

Assim, ao revisitar o conceito de interpretante, Peirce definiu o interpretante imediato, localizado no interior do signo, como sendo o responsável pelo efeito capaz de levar o intérprete a uma interpretação (SANTAELLA, 2002). Segundo Romanini (2006), o interpretante imediato possui “uma interpretabilidade que existe apenas *in posse*”, ou seja, ele tem em si a potência de gerar uma interpretação.

Para Peirce, são três impressões que o signo, por meio do interpretante imediato, pode causar em um intérprete: *i*) emocional, ou seja, é a possibilidade de se interpretar emotivamente o signo; *ii*) energética, diz respeito à possibilidade de se interpretar efetivamente o signo; *iii*) e lógico, referente à capacidade de se interpretar o signo como hábito.

A respeito do interpretante dinâmico, este é considerado como o efeito produzido pela ação do signo, ou seja, um novo signo:

[...] a atualização de uma das possibilidades latentes do interpretante imediato. Quando o interpretante imediato é uma possibilidade, o interpretante dinâmico também o será necessariamente. Se o interpretante imediato for um existente, o interpretante dinâmico poderá ter a natureza de uma qualidade ou, então, uma reação energética, como uma resposta espontânea a um estímulo. Somente quando o interpretante imediato for uma terceiridade – ou seja, quando ele se apresentar como *interpretabilidade fundamentada* –, o interpretante dinâmico poderá ser, além das duas possibilidades anteriores, também um hábito comportamental, uma *maneira de interpretar* efetivamente um signo para atingir um propósito desejado, que será o interpretante final do signo (ROMANINI, 2006, p. 121).

Para Peirce, o interpretante ‘final’ é “o resultado interpretativo ao qual todo intérprete está destinado a chegar se o signo for suficientemente considerado [...]. O interpretante final é aquilo para o qual o real tende” (PEIRCE, p. 111 *apud* SANTAELLA, 2000, p. 74). Como visto antes, o interpretante ‘final’ – a representação totalmente

despida – nunca será atingido, pois a semiose é um processo *ad infinitum*. Mesmo quando uma semiose é interrompida por falta de estímulos, o interpretante ‘final’, ainda teria *in posse* a capacidade de evoluir nas suas significações. Ou seja, a interpretabilidade *in posse*, pertencente ao interpretante imediato, pode levar o mesmo a se tornar ou não o interpretante final.

Diante disso, são três os modos de interferência que o interpretante imediato causa no final: i) por meio de uma qualidade, destinando a um interpretante final emocional; ii) por um existente, destinado a um interpretante final energético; iii) ou por uma lei, que levará a um interpretante final lógico.

Após as esclarecimentos sobre as entidades semióticas, pertencentes à tríade peirceana, apresentaremos o modo de classificar os signos, com base nas relações que estes estabelecem consigo próprios, com o objeto e com o interpretante.

2.2 A TRÍADE SÍGNICA

A tríade sígnica foi proposta por Peirce tendo em vista as categorias de *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade* (SANTAELLA, 2000, p. 92), sendo composta por: i) o fundamento do **signo**; ii) a relação do **signo com seu objeto dinâmico**; iii) e a relação do **signo com o interpretante**.

Para Santaella (2000), o fundamento do **signo** se estabelece com base nos caracteres de:

- i) qualidade: ligada à originalidade do signo, manifesta-se através de um quali-signo;
- ii) factuais: relacionado à existência, e se manifesta através de um sin-signo;
- iii) abituais: relacionado às leis, e presentificado por signos do tipo legi-signos.

Já a relação entre **o signo com seu objeto dinâmico**, pode se estabelecer em virtude de:

- i) similaridade: o signo traz em si elementos de qualidade referentes ao objeto dinâmico – relação icônica;
- ii) conexão de fato, de maneira não cognitiva: o signo traz em si manifestações, indícios do objeto dinâmico – relação indicial;
- iii) hábitos: relacionados a processo lógicos, usual – relação simbólica.

Por fim, Santaella (2000) traz que as possíveis relações estabelecidas entre o **signo e o interpretante** são:

- i) como qualidade: apresenta-se ao interpretante como mera hipótese ou rema;
- ii) como fato: apresenta-se ao interpretante como discentes;
- iii) como leis: apresenta-se ao interpretante como argumento.

Considerando o foco desta pesquisa, e a vastidão da obra de Peirce, iremos trazer para uma discussão mais detalhada apenas as 9 primeiras categorias oriundas das relações triádicas dos signos, em especial as categorias pertencentes às relações entre o signo em si e signo/objeto.

2.2.1 Primeira tricotomia: o fundamento do signo

A primeira tricotomia é referente ao fundamento do signo, ou seja, é referente ao

caráter presentativo do signo, ou a maneira como ele se apresenta para um intérprete, independentemente do objeto que ele professa representar ou do efeito que produz. É, portanto, o signo em si mesmo (S), cuja capacidade sígnica deve-se ao seu fundamento (*ground*) – o universo das possibilidades de representação que, quando uma ocasião se apresentar, permitirá que seja tomado como um signo de seu objeto (ROMANINI, 2006, p. 94).

Assim, a primeira tricotomia tem o caráter de apresentar diferentes possibilidades de representação. Ela é responsável pelas bases que possibilitam que o signo funcione como tal, pois “entre as infinitas propriedades materiais, substâncias etc. que as coisas têm, há três propriedades formais que lhe dão capacidade para funcionar como signo: sua mera qualidade, sua existência, quer dizer, o simples fato de existir, e seu caráter de lei” (SANTAELLA, 2002, p. 12). Essas fazem referência às três categorias fenomenológicas peirceanas:

- i) Quali-signo: referente ao caráter qualitativo do signo. Ele apresenta relação icônica com o objeto dinâmico por meio do objeto imediato, ou seja, refere-se ao caráter descritivo que o signo estabelece com o objeto dinâmico;

ii) Sin-signo: diz respeito à existência do signo. Por meio do objeto imediato, este signo estabelece relação de indexicalidade com o objeto dinâmico. O sin-signo é referente ao caráter designativo que o signo estabelece com o objeto dinâmico, ele é a ação que o signo pode produzir no intérprete sobre o objeto dinâmico em questão;

iii) Legi-signo: Condiz às relações lógicas existentes entre o signo e o objeto dinâmico. É um signo que é uma lei, uma convenção (SANTAELLA, 2000).

Santaella (2000) ainda acrescenta que o legi-signo, dentro de uma perspectiva de análise, se torna ele próprio um signo, o qual participa da dinâmica de um processo contínuo de semiose.

2.2.2 Segunda tricotomia: relação entre signo e o objeto

Em relação à segunda tricotomia, Romanini (2006) aponta que esta

corresponde ao caráter representativo do signo, ou a maneira que o signo representa seu objeto para um interpretante, independentemente do efeito que produzirá. É, portanto, a relação entre signo e objeto (S-O). O segundo correlato é determinado pelo primeiro e, por sua vez, determina o terceiro (ROMANINI, 2006, p. 94).

Como pontua Santaella (2000) são três os possíveis signos que se desenvolvem da relação signo-objeto, sendo denominados por Peirce de ícone, índice e símbolo. Estes por sua vez se relacionam diretamente e respectivamente às categorias fenomenológicas pontuadas por Peirce, ou seja, o ícone se relaciona à primeiridade, o índice à secundidade e o símbolo à terceiridade. Porém, há que se destacar que a terceiridade é dependente da secundidade, que por sua vez é dependente da primeiridade. Assim, falar que cada um se relaciona a uma categoria fenomenológica sem pontuar esse fato específico pode ser equivocado. Não bastando, um signo de natureza icônica, ou seja, relacionado à primeiridade, pode não ser uma manifestação puramente icônica, e manifestar-se, também, como um índice, por exemplo.

Em relação ao caráter icônico presente em um signo, Peirce (2010) pontua que um ícone é

um signo que se refere ao Objeto que denota apenas em virtude de seus caracteres próprios, caracteres que ele igualmente possui quer um tal Objeto realmente exista ou não [...]. Qualquer coisa, seja uma qualidade, um existente individual ou uma lei, é Ícone de qualquer coisa, na medida em que for semelhante a essa coisa e utilizando como um signo seu (PEIRCE, 2010, p. 52).

É necessário, porém, ter cautela ao se referir à definição que um signo icônico se relaciona com o objeto que denota, apenas pelos seus caracteres de semelhança. Souza (2012), com base em Stjernfelt (2000), pontua que “o próprio Peirce admitiu que definir um ícone com base exclusivamente em critérios de semelhança abriria caminhos aos perigos associados a esse conceito, como sua redução à ideia de identidade e a falta de critérios para julgar dois fenômenos como similares” (SOUZA, 2012, p. 129).

Ainda em relação ao entendimento sobre o signo, Souza (2012) aponta que o conceito de similaridade para Peirce se refere a uma função operacional, tendo como principal objetivo possibilitar que a iconicidade seja manipulada a fim de gerar novas informações, e não o quanto o signo icônico parece, ou não, com o seu objeto. Vinculada a este caráter do signo, está a capacidade de diferentes tipos de signos representarem um mesmo objeto. Não apenas em relação aos signos do tipo icônico, mas sim qualquer tipo de signo. Por exemplo, pode-se representar determinada realidade molecular por meio de uma expressão matemática, sendo caracterizada como composta por signos icônicos, ou por meio de uma representação molecular do tipo mapas de potencial eletrostático, considerado composto por signos, em sua maioria, do tipo icônicos – como veremos no próximo tópico, e mais detalhadamente nas discussões das análises.

Neste contexto, um signo pode ser considerado um ícone tanto por semelhança de aparência quanto na operacionalidade. Por exemplo, a manipulação de uma equação, constituída de letras e números, pode ser considerada um ícone, pois por meio delas obtemos informações que não estavam aparentes desde o início do signo e, naturalmente, as letras e números não visam substituir o objeto no nível de semelhança de aparência.

Frente a essas questões sobre o ícone – que não nos convém abordá-las em profundidade aqui – e considerando que qualquer relação

sínica dentro da segunda tricotomia vem depois do primeiro, ou seja, necessita do primeiro para se tornar um processo da segunda tricotomia, “Peirce estabeleceu a existência e as diferenças entre sin-signos icônicos – ou hipóícones – o ícone próprio – ou ícone atual – até o limite do ícone puro” (SANTAELLA, 2000, p. 110).

Sobre o ícone puro, Santaella (2000) pontua que

o ícone puro diz respeito ao ícone como mônada indivisível e sem partes e, como tal, trata-se de algo mental. O ícone puro é uma de *cosa mentale*, meramente possível, imaginante [...] ainda não relativa a nenhum objeto, e, conseqüentemente, anterior à geração de qualquer interpretante (SANTAELLA. 2000, p. 111).

O ícone puro é o “vir a ser”, ele tem a potência para se tornar algo. Já o ícone próprio ou o ícone atual – como utilizado por Santaella (2010) – desempenha a função do ícone nos processos perceptivos. É “este signo responsável pelo aspecto diádico do ícone ocorrido entre o signo e o objeto, e traz em si tanto o caráter de sentimento, quanto de possíveis associações entre os mesmos” (SANTAELLA, 2000, p. 111).

Assim, o signo icônico – o mais sistematizado por Peirce entre os três – é o signo que cumpre a função de concretizar a ação do signo – mesmo que em estado potencial. Este se refere “a algo que já se apresenta como signo, representando alguma coisa em como tal, intrinsecamente triádico, apesar de se tratar de uma tríade não genuína, visto que é regida por relações de comparação e cuja referência ao objeto ocorre pela semelhança” (SANTAELLA, 2000, p. 111). Sendo por sua vez triádico, o signo icônico ou o hipóícone apresenta três faces¹⁰: i) a imagem; ii) o diagrama; e iii) a metáfora.

As imagens representam segundo qualidades primeiras (forma, cor, textura, som, etc.) que entram em relações de semelhança e comparação, como uma pintura, por exemplo. Os diagramas [...] não mais se relacionam com a aparência, mas com relações internas [...]. Finalmente, as metáforas implicam paralelismo com algo diverso do signo, cuja interpretação depende de

¹⁰ Para um uma discussão mais detalhada sobre os tipos de ícones, ver Santaella (2000).

considerável esforço mental e acionamento de significados que se associa à terceiridade (SOUZA, 2012, p. 129-130).

Como veremos no próximo tópico, na química, em especial, a presença dos hipoícones do tipo diagramas é de extrema importância, pois permite representar o mundo submicroscópico utilizando-se de signos que são capazes de trazer em si a teoria que a procede, possibilitando, assim, “semelhança reconhecida através de relações internas racionalmente construídas” (SOUZA, 2012, p. 130).

Já um signo em seu aspecto indicial, estabelecerá relações nas quais o objeto afeta diretamente o primeiro – o signo. “No índice, a relação entre signo e objeto é direta, visto que se trata de uma relação entre existentes, singulares, factivos, isto é, conectados por uma relação de fato” (SANTAELLA, 2002, p. 127). Nas palavras de Peirce (2010):

Um índice é um signo que se refere ao Objeto que denota em virtude de ser realmente afetado por esse Objeto. Portanto, não pode ser um Quali-signo, uma vez que as qualidades são o que são independentemente de qualquer outra coisa. Na medida em que o Índice é afetado pelo Objeto, tem ele necessariamente alguma Qualidade em comum com o Objeto, e é com respeito a estas qualidades que ele se refere ao Objeto. Portanto, o Índice envolve uma espécie de Ícone, um Ícone de tipo especial; e não é a mera semelhança com seu Objeto, mesmo que sob estes aspectos que o torna um signo, mas sim sua efetiva modificação pelo Objeto (PEIRCE, 2010, p. 52).

O índice é um signo que representa o objeto por meio de indícios do mesmo. Por exemplo, um relâmpago é um indício de chuva, do mesmo modo que marcas de pegadas na areia são indícios da passagem de alguém pelo local.

Por fim, do mesmo modo que o ícone traz em si a capacidade de significar, o símbolo, por sua vez, se destaca pelo seu caráter de representação, a fim de possibilitar o desenvolvimento de um interpretante. Santaella (2000) coloca que o caráter do símbolo se encontra na sua generalidade e que tem como função fazer crescer interpretantes.

Mais uma vez, utilizando as palavras de Peirce (1966), por meio da obra de Santaella (2000):

um signo que se refere ao Objeto que denota em virtude de uma lei, normalmente uma associação de idéias gerais que opera no sentido de fazer com que o Símbolo seja interpretado como se referindo àquele Objeto. Assim, é, em si mesmo, uma lei ou um tipo geral, ou seja, um Legissigno (SANTAELLA, 2000, p. 53).

Santaella (2000) salienta que mesmo sendo o símbolo um legi-signo, nem todo legi-signo é de natureza majoritariamente simbólica, ao passo que um legi-signo pode ainda ser icônico ou indicial. Veremos com mais detalhes as possibilidades de relações sgnicas quando discutirmos estas questões vinculadas aos conhecimentos químicos. Até o momento, podemos finalizar a discussão sobre símbolo concebendo este como oriundo de convenções, de leis, vinculadas a hábitos culturais e intelectuais.

2.2.3 Terceira tricotomia: relação entre signo e o interpretante

Mesmo considerando o fato de que nossa análise neste trabalho se restringirá somente ao primeiro e segundo correlato, trazemos esclarecimentos sobre o mesmo, a fim de fechar as relações tricotômicas presentes entre as entidades semióticas de Peirce. Para tal, trazemos considerações de Romanini (2006) sobre a terceira tricotomia peirceana. Esta

corresponde ao caráter interpretativo do signo, ou o efeito que o signo produzirá em uma mente interpretante graças ao seu poder de representar o objeto. Corresponde, portanto, ao efeito da relação triádica entre signo, objeto e interpretante (S-O-I). O terceiro correlato é determinado pelos dois anteriores (ROMANINI, 2006, p. 94).

O interpretante traz em si os signos denominados de *rema*, *dici-signo* e *argumento*. Assim, um signo tipo rema, é um signo de possibilidade qualitativa, traz em si o que é essencial do objeto que se quer representar. “Uma rema não pode ser firmado e nem negado porque não pode ser julgado como verdadeiro ou falso. Ele é, portanto, um signo de vagueza e indeterminação” (ROMANINI, 2006, p. 107), ou

seja, este tipo de signo não produz no intérprete qualquer efeito energético ou lógico, ele é apenas uma possibilidade de interpretação. Pode-se dizer que uma rema é um signo que representa seu objeto apenas em seus caracteres, ou seja, está ligada diretamente às qualidades do objeto que o signo traz em si.

Para Romanini (2006), o signo tipo dicente é o efeito na mente do intérprete da “cópula entre o índice e o Universo ao qual esse índice se refere”. Para Peirce (2005), este signo é compreendido como algo que representa seu objeto em relação à sua existência real.

O argumento é um signo de razão, “é uma super ordem que coordena o processo sintético da semiose, a capacidade de produzir significados (Proposições) e hábitos (Induções), fazendo com que cada informação aumente com o passar do tempo” (ROMANINI, p. 109, 2006).

Como visto, todas as articulações estabelecidas entre as entidades triádicas – signo, objeto e interpretante - ocorrem nos três níveis semióticos propostos por Peirce, e originam nove tipos de signos. Podemos visualizar estas relações organizadas na tabela a seguir:

Tabela 1 - Relações tricotômicas e as nove classes de signos.

CATEGORIAS	Primeira tricotomia	Segunda tricotomia	Terceira Tricotomia
Primeiridade	Quali-signo	Ícone	Rema
Segundidade	Sin-signo	Índice	Dici-signo
Terceiridade	Legi-signo	Símbolo	Argumento

Fonte: Romanini (2006)

Realizadas as devidas esclarecimentos sobre as entidades semióticas e o modo que estas se relacionam com o signo dentro dos processos de semiose, seguiremos para uma discussão sobre a teoria semiótica no âmbito da química.

2.3 QUÍMICA E SEMIÓTICA: APROXIMAÇÕES

A fim de compreender os processos representacionais presentes na linguagem química, alguns autores buscam na semiótica peirceana explicações para os mecanismos lógicos da construção dos

conhecimentos desta ciência, em especial explicações sobre o modo que se apreende e comunica a realidade química (WARTHA, 2013; GOIS; GIORDAN, 2007; ARAUJO NETO, 2009; SOUZA, 2012). Destacamos especialmente a compreensão da natureza das representações como sendo um conjunto de signos, a fim de representar determinado objeto, que neste caso é considerado como sendo a teoria que determina – em diferentes níveis – o modo que determinada representação irá se estruturar.

Segundo Souza (2012), a semiótica pode auxiliar no esclarecimento de problemas filosóficos identificados nas descrições da atividade química. Neste contexto,

a compreensão de que as evidências experimentais atuam como signos de um objeto (realidade) do qual só podemos ter acesso parcial, contribui para a compreensão da atividade científica como processo em permanente construção e significativamente influenciado pelo momento histórico em que se dá. Ao mesmo tempo, tal abordagem permite evidenciar a capacidade peculiar da ciência química de criar novos objetos dinâmicos, que a distingue das demais áreas do conhecimento”. (SOUZA, 2012, p. 7).

A autora ainda pontua que um processo de conhecimento iniciado por meio de evidências experimentais possibilita o desenvolvimento de diferentes interpretantes ao longo do tempo, estimulando a formação de consensos científicos, tanto em relação às teorias explicativas, quanto as estratégias de comunicação, permitindo, assim, superar a dicotomia entre o teórico/submicroscópico **X** representacional/simbólico, e propor a ideia de construtos teóricos – interpretantes finais – que incluem teoria e linguagem. Assim, a teoria de Peirce se aplica aos construtos científicos da química sem incorrer em um problema ontológico, uma vez que “o objeto não passa a existir em virtude do signo” (SOUZA, 2012).

Souza (2012) ainda expressa que a compreensão das representações moleculares através do processo de semiose auxilia na desconstrução das compressões realistas ingênuas quanto à existência material de entidades químicas, como os orbitais e moléculas. Assim, tal abordagem ganha especial importância, pois considera não apenas a comunicação do conteúdo químico por meio de representações

(construtos científicos), mas também considera o processo de construção de tais representações em sala de aula.

Para Wartha (2013), a semiótica peirceana pode ser vista como uma forma de compreender os processos envolvidos no ensino e aprendizagem de conceitos químicos, especialmente os relativos à química orgânica. Em sua pesquisa, o autor identificou e descreveu relações entre estudantes, professores, e diferentes estratégias de comunicação em uma aula de química orgânica para o ensino superior. As representações presentes nestes processos foram interpretadas com base nos níveis de relações entre perceber, relacionar e conceituar, desenvolvidas entre os signos e o sujeito. Sendo as representações químicas os signos, e os intérpretes, os estudantes do curso em questão, Wartha (2013) identificou que na relação triádica entre perceber - relacionar - conceituar, existem diferentes lacunas que prejudicam a formação de tais conceitos químicos, sendo estas lacunas relativas aos atos de:

i) *Perceber*: constatou-se que os professores, ao utilizarem “diferentes estratégias de comunicação, não consideram os aspectos visuais e representacionais”. Nas aulas investigadas, foram poucas as ações do professor em relação aos conteúdos representacionais de forma exclusiva, ou seja, tendo as representações químicas como o foco da aula.

ii) *Relacionar e conceituar*: identificou-se dificuldades apresentadas pelos estudantes em estabelecer relações entre os signos – ação de perceber – quando esses se deparavam com diferentes “estratégias de comunicação”, como, por exemplo, diagramas, esquemas, textos, gráficos, etc.

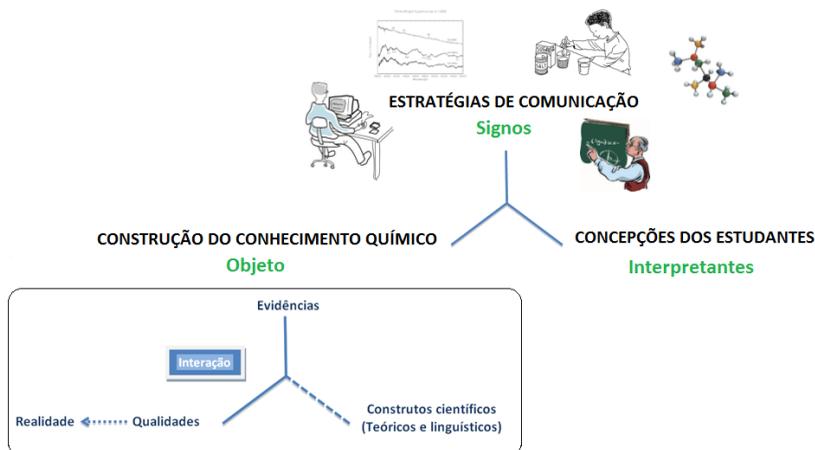
Perante os fatos, Wartha (2013) defende que

a questão do processo de representação, no contexto dos processos de ensino e aprendizagem da Química Orgânica, é muito mais do que incluir um novo tema ou um novo tópico de conteúdo nos programas das disciplinas. Considerar os processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica na perspectiva da Semiótica Peirceana requer uma mudança de perspectiva mais geral, em que a representação seja concebida como um sistema de significação, uma forma de atribuição de sentido e de elaboração conceitual.

Requer que a sala de aula seja vista como um espaço de relações entre signos, objetos e interpretantes (WARTHA, 2013, p. 223).

Ampliando o olhar para os conhecimentos químicos dentro do ensino, com base nas relações tricotômicas estabelecidas por Peirce, Souza (2012) apresenta uma figura (aqui mostrada na figura 5) a fim de representar a comunicação dos conhecimentos químicos dentro dos ambientes de ensino e aprendizagem.

Figura 5 Comunicação do conhecimento químico nos ambientes de ensino e aprendizagem.



Fonte: (SOUZA, 2012, p. 83).

As estratégias de comunicação são compreendidas como sendo tudo que se apresenta ao estudante – intérprete – com a intenção de aproximar este do objeto a ser comunicado. Por exemplo,

o comportamento gestual e verbal do professor, a realização de experimentos, a apresentação de gráficos, a utilização de modelos moleculares, a discussão de situações de aplicação do conhecimento químico e a inclusão de imagens em livros didáticos [...] tratam de estratégias de

comunicação que visam captar diferentes aspectos de um mesmo objeto (SOUZA, 2012, p. 84).

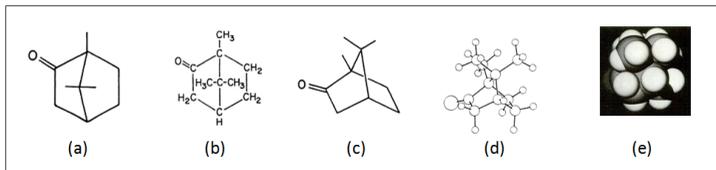
No contexto apresentado, o objeto em questão diz respeito ao conhecimento científico, que por sua vez é oriundo de teorias que buscam compreender a realidade científica. Para Souza (2012), no processo de estratégias comunicação do conhecimento químico, o objeto

possui diferentes aspectos cuja comunicação depende de diferentes estratégias (signos), uma vez que não podem ser diretamente acessados em sua totalidade. Por estratégias de comunicação entendemos tudo que se apresenta ao intérprete (nosso estudante de química) com a intenção de aproximá-lo do objeto a ser comunicado (...) Entendemos, assim, que os níveis macroscópicos, sub-microscópico e simbólico, bem como o aspecto humano, remetem, na verdade, a estratégia de comunicação do conhecimento químico, cuja presença e intercâmbio devem ser garantidos pelo professor, de forma a possibilitar o contato dos estudantes com a maior variabilidade de aspectos possível de seu objeto, o conhecimento químico em si (SOUZA, 2012, p. 81).

A autora destaca que a utilização de diferentes estratégias de comunicação utilizadas no processo de ensino auxilia na elaboração de interpretantes por parte dos estudantes, contribuindo, consequentemente, com a formação de conceitos químicos pelos mesmos.

Ampliando a discussão sobre a utilização de diferentes estratégias de comunicação, semelhante à escolha feita por Hayward (figura 4) – ao utilizar de diferentes objetos-modelos a fim de representar diferentes informações sobre o grupo hemo – apresentamos o exemplo da molécula de cânfora, articulada por Hoffmann (2007), a fim de exemplificar mais detalhadamente o modo como diferentes representações moleculares são capazes de comunicar conhecimentos sobre uma mesma molécula. Vejamos:

Figura 6 Diferentes representações moleculares da cânfora.



Fonte: Hoffmann (2007)

Segundo o autor, cada tipo de representação tem em sua estrutura a capacidade de comunicar determinadas informações, sendo que quando estas são utilizadas fora de seus contextos, acabam não cumprindo o objetivo esperado. Por exemplo, para Hoffmann (2007), quando se deseja apenas comunicar a estrutura geral de uma molécula já conhecida, a escolha seria utilizar uma representação do tipo bastão/bastão (figura 6a e 6c). Este tipo de representação traz em si abreviações dos elementos onipresentes em uma molécula orgânica, neste caso o carbono e hidrogênio. Assim, os vértices presentes nesta estrutura foram convencionados, pela cultura química, como representações de átomos de carbonos. Enquanto a “não-representação” dos átomos de hidrogênio é deduzida a partir do número de ligações do carbono.

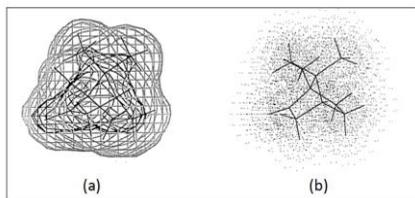
Já em uma situação onde o intuito seja de explicitar os elementos químicos presentes na molécula, utilizam-se as representações do tipo letra/bastão (figura 6b). Neste tipo de representação, os elementos químicos são representados pelas letras iniciais de seus respectivos nomes. Em outros casos, quando o interesse está relacionado à espacialidade molecular, busca-se recursos de representações tridimensionais (figura 6d e 6e), ao passo que a maneira com que os bastões são dispostos no papel possibilita visualizar o arranjo molecular em três dimensões.

Ainda pode-se fazer uso de formas estruturais, oriundas da técnica de cristalografia, a fim de representar a tridimensionalidade espacial, bem como as distâncias interatômicas de modo proporcional da molécula de cânfora. Essas estruturas podem ser representadas pelo modelo bola/bastão (figura 6d). Hoffmann (2007) pontua que neste tipo de representação o tamanho das bolas que representam os átomos na molécula é arbitrário, e uma representação mais “realista” – aspas do autor – dos volumes ocupados pelos átomos na molécula pode ser

visualizada em uma representação denominada de o bola/bola, ou ainda, denominada com as iniciais de seus desenvolvedores, CPK ¹¹ (figura 6e).

Outro tipo de representação trazida por Hoffmann (2007) são os mapas de potencial eletrostático. Na figura abaixo o autor traz dois tipos de mapas de potenciais eletrostáticos:

Figura 7 Mapas de potencial da cânfora.

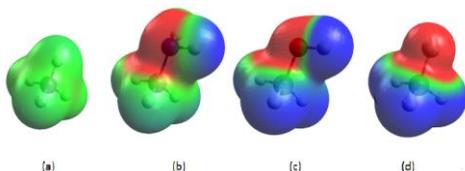


Fonte: Hoffmann (2007)

Para o autor, cada uma dessas representações traz diferentes tipos de informações sobre a molécula de cânfora, como, por exemplo, sobre os volumes dos átomos, a densidade eletrônica, bem como a espacialidade da molécula.

Extrapolando os exemplos das representações moleculares da cânfora trazidas por Hoffmann (2007), outras possibilidades são os mapas de potencial eletrostático, ou mapas de densidade eletrônica em cores (figura 8):

Figura 8 Exemplos de mapas de potencial de diferentes moléculas.



Fonte: <<http://goo.gl/MBhRnl>>

¹¹ Corey-Pauling-Koltun

O Mapa de Potencial Eletrostático (M.P.E.) caracteriza-se como uma importante representação molecular, capaz de fornecer informações pertinentes acerca não apenas da estrutura molecular, mas de sua estabilidade, reatividade química e seletividade, constituindo-se, assim, como um dos descritores gráficos mais comumente utilizados (HEHRE, 2003). Ao valer-se do conceito de Potencial Eletrostático – isto é, a capacidade de um corpo energizado realizar trabalho sobre cargas elétricas, atraindo-as ou repelindo-as – essa representação elucida a capacidade de atração/repulsão das moléculas e, assim, as particularidades e possibilidades de ligações químicas que apresentam. Por meio dessa representação é ilustrada, de maneira sintética, a distribuição espacial da densidade eletrônica de determinada molécula, por meio de sua cor e formato.

Em relação a cor ou cores que constituem tais mapas, a variação dessa densidade – ou seja, regiões de maiores ou menores densidades eletrônicas – é representada por meio da associação com a escala de cores correspondentes às frequências da faixa visível do espectro eletromagnético. Nesse sentido, McMurry (2011) aponta que a utilização de diferentes tipos de cores, está relacionada à distribuição das diferentes cargas presentes em cada molécula. Por exemplo, as regiões com maior densidade eletrônica são representadas pela cor vermelha ou pelo símbolo da letra grega delta acompanhada do sinal matemático ‘menos’ – fazendo referência à carga negativa (δ^-). E as regiões de menor concentração de elétrons são representadas pela cor azul ou pelo símbolo delta acompanhada do sinal de ‘mais’ (δ^+) – se referindo à carga positiva, ou ainda à ausência de carga negativa naquela região. As cores intermediárias seguem a sequência crescente das cores do espectro eletromagnético visível – vermelho, laranja, amarelo, verde, azul claro e azul escuro.

Como vimos, a comunicação dos conhecimentos químicos pode ocorrer por meio de diferentes tipos de representações moleculares. Por exemplo, em uma discussão sobre polaridade de determinada molécula, um tipo de representação adequada para comunicar as diferentes cargas presentes na mesma são os mapas de potencial eletrostático, como vimos anteriormente.

Em relação aos processos representacionais presentes nas aulas de química, Gois e Giordan (2007) identificaram que em cada dimensão do conhecimento químico prevalece um determinado caráter sógnico, oriundo da relação entre o signo e objeto. Para os autores, no nível macroscópico destacam-se os signos concebidos como índices e

símbolos; no nível submicroscópico predominam signos icônicos e também simbólicos. Em relação ao nível simbólico do conhecimento químico, coexistem todas as qualidades de significação.

Avançando na discussão, Gois e Giordan (2007) ao relacionarem as dimensões do conhecimento químico com as possíveis relações estabelecidas entre os signos e objetos envolvidos, definem que um exemplo de signo do tipo icônico é um “objeto molecular” concreto, do tipo bola-vareta, em uma aula sobre descontinuidade da matéria. Os autores justificam que este tipo de representação é um ícone pelo fato de estabelecer semelhança de propriedade com a teoria de Dalton sobre a descontinuidade da matéria. Neste caso, a teoria é considerada o objeto a ser representado. Já um índice seria um signo que promove significado em virtude de uma “ligação física direta com o objeto, indicando sua existência” (GOIS; GIORDAN, 2007, p. 37). Como exemplo de índice, os autores apontam para o símbolo do elemento químico carbono (C) no contexto de uma aula sobre elementos químicos. Já os símbolos, por sua vez, são signos associados aos seus objetos em virtude de uma lei ou convenção. Um exemplo é a palavra fósforo para identificar determinado elemento químico – também em uma aula sobre elementos químicos. O fato dos autores pontuarem os contextos nos quais eles classificaram os diferentes signos decorre da questão que uma mesma representação pode apresentar diferente caráter sógnico dependendo do meio em que ela está inserida.

Wartha (2013) assume a mesma compreensão proposta por Gois e Giordan (2007) em relação à classificação dos signos presentes nas representações da química. Para ele, uma representação do tipo bola-vareta também é considerada um ícone, enquanto que os símbolos alfabéticos representando os elementos químicos são considerados índices.

Ao aproximar os diferentes signos com as dinâmicas dos processos de ensino e aprendizagem, Wartha (2013) descreve que no signo icônico o intérprete necessita ter o mínimo de conhecimento químico para poder identificar a ideia de molécula – objeto – presente em tal representação molecular – signo. No caso de um índice, este não depende do interpretante, pois apenas aponta para outro signo, que seria a palavra carbono, obtendo assim o seu significado (GOIS; GIORDAN, 2007).

Assim, os signos do tipo indicial:

promovem significação pelo fato de indicarem o objeto e de serem automaticamente afetados por

ele, de forma que a indefinição do objeto acarreta a perda do significado pretendido. De acordo com a atividade proposta pelo professor, a representação mental do estudante, poderá se iniciar em ícone ou índice e evoluir para símbolo genuinamente representado. Um mesmo exemplo poderá assumir as três categorias, que, de acordo com Peirce, não são fixas (WARTHA, 2013, p. 70).

Para o autor, uma representação específica da molécula de etanol pode ser considerada um símbolo para a comunidade de químicos, porém pode não ter o mesmo significado para um estudante que acabou de entrar em contato com funções orgânicas e suas representações.

Antes mesmo de o professor explicar os diferentes compostos no contexto das funções orgânicas, mais especificadamente, esse nome como identificador de um dos componentes da função álcool, ao se pronunciar a palavra etanol, vem à mente do estudante a ideia cotidiana do combustível, do carro flex, da usina de álcool, da cana-de-açúcar, por exemplo. Como as categorias não são fixas, podem-se encontrar estudantes que não consigam fazer tais relações e, nesse caso, a construção da representação pelo aluno poderá se iniciar em ícone e se deslocar para símbolo (WARTHA, 2013, p. 71).

Desta forma, um símbolo é um signo que ao presentificar o objeto utiliza-se de regras estabelecidas culturalmente. Porém, quando uma informação é apenas memorizada por meio de representações, e o ícone não evolui para um símbolo, isso poderá causar degenerescência *sígnica*¹² (WARTHA, 2013; GOIS; GIORDAN, 2007), prejudicando a construção do conhecimento químico envolvido.

Souza (2012), ao discutir sobre a classificação dos signos relacionados às representações químicas, destaca a importância da

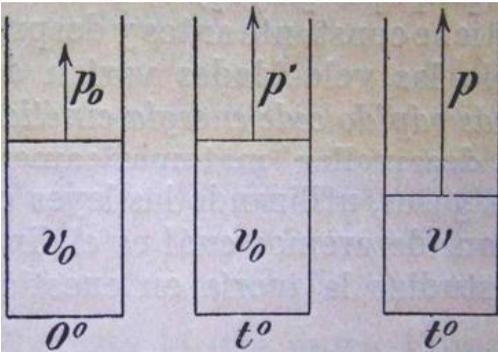
12 Para melhor compreender tal questão, é necessário entender os conceitos de Genuinidade e Degenerescência, que descrevem o tipo de relação que a mente interpretadora estabelece entre o signo e o objeto que ela tenta representar (WARTHA, 2013).

complementaridade existente entre os diferentes signos. Segundo ela, baseada na semiótica peirceana, o signo sempre representará determinado objeto apenas parcialmente e nunca em sua completude. Assim, a autora pontua que a equação $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ é composta majoritariamente por signos de caráter simbólico, a qual não abarca a representação de aspectos macro nem submicroscópicos relacionados ao processo de combustão, muito menos os aspectos ambientais e econômicos relacionados a este fenômeno. Caberá ao professor empregar uma diversidade de signos em suas aulas, visto que cada um deles comunica um aspecto em particular do objeto.

Em relação às estratégias gráficas presentes em livros de química, Souza e Porto (2010) analisaram como estas se apresentavam em livros de química geral, e constataram que, no começo do século XX, os fenômenos em química eram representados majoritariamente pelo seu caráter macroscópico, e por meio de relações indexicais entre o signo e o objeto. Porém, no decorrer dos anos, notou-se a ampliação do uso de signos do tipo icônico na constituição de tais estratégias. Tal caráter sógnico possibilitou que se representassem entidades e conceitos químicos de maneiras cada vez mais complexas e abstratas (SOUZA, 2012).

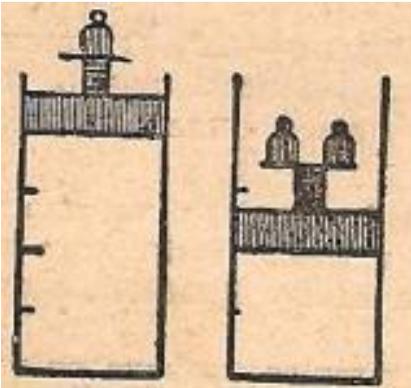
Por exemplo, a utilização de representações de êmbolos ou setas para indicar características pertencentes aos gases – neste caso, fazendo referência a interferência da pressão em um sistema – foram complementadas por representações submicroscópicas pertencentes à teoria cinética dos gases. Como podemos observar, as duas primeiras imagens (figuras 9 e 10) são constituídas de signos de caráter majoritariamente indexical, ao passo que utilizam-se de signos que não se relacionam diretamente com o objeto a ser representado, como no caso de setas e letras para representar a variação de pressão em um sistema. Neste contexto, “ao representar as relações entre pressão e volume, os autores do início do século não se comprometiam com a representação do fenômeno em nível teórico - conceitual” (SOUZA 2012, p. 67).

Figura 9 Relação entre a pressão de um gás, seu volume e sua temperatura.
Bavink, 1928.



Fonte: Souza (2012, p.67).

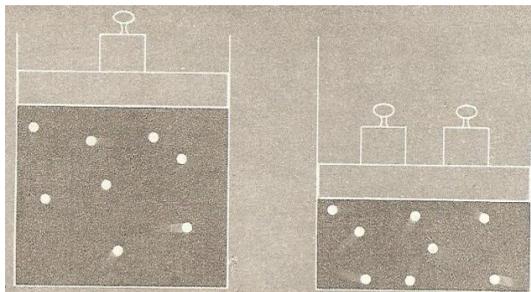
Figura 10 Lei de Boyle - Mariotte Puing, 1936.



Fonte: Souza (2012, p. 67)

Já a terceira figura (figura 11), apresenta tanto o caráter indexical, quanto icônico, ao passo que representa características internas pertencentes à teoria cinética dos gases.

Figura 11 Explicação da Lei de Boyle pela teoria cinética Sienko e Plane, 1926.



Fonte: Souza (2012, p.67)

Em relação ao caráter icônico do signo, Souza (2012) traz as contribuições de Vollmer (2006) ao apontar que esses possibilitam que os átomos e suas representações compartilhem as mesmas relações espaciais, ou seja, as mesmas qualidades do objeto a ser representado.

Vistas as discussões tecidas até o momento em relação às esclarecimentos relatadas sobre a classificação dos signos no âmbito do Ensino de Química, concluímos que existem duas interpretações distintas em relação à natureza de um signo indicial. Uma apresentada, de um lado, por Góis e Giordan (2007) e Wartha (2013), e, do outro, por Souza (2012).

Com base na teoria semiótica peirceana, temos que o caráter indicial de um signo manifesta-se ao indicar o objeto, ou seja, o signo estabelece relações diretas com seu objeto. Por exemplo, a mudança de cor, a formação de precipitado e a liberação de gás são índices – no sentido de indícios – de reações químicas. Neste sentido, a interpretação trazida por Souza (2013) se torna adequada, dentro da semiótica de Peirce, ao compreender a fórmula molecular do gás metano (CH_4) – composta por símbolos numéricos e alfabéticos – como sendo de caráter majoritariamente simbólico, e não indicial, como apontam Gois e Giordan (2007).

Sobre essa questão, Gois e Giordan (2007, p. 37) descrevem que "todas as palavras são símbolos porque não denotam coisas em particular, mas espécies de coisas, próprios da sua língua de origem". Do mesmo modo, os autores acrescentam que o símbolo carbono (C) não detona um carbono em particular, mas sim a existência de um tipo geral de elemento químico.

Quando Gois e Giordan (*ibidem*) apontam que “os índices promovem significação pelo fato de indicarem o objeto e de serem automaticamente afetados por ele, de forma que a indefinição do objeto acarreta a perda do significado pretendido”, reabre-se a teia sobre a indefinição quanto ao caráter sógnico majoritário do símbolo carbono (C). Gois e Giordan (2007) apontam as razões do porquê o C é um símbolo e não um índice, mas ainda apresentam outra interpretação ao considerarem que:

A palavra sozinha não denota um palito de fósforos em particular ou o elemento químico fósforo, mas um tipo ou algumas possibilidades de tipo de objeto de conhecimento. Os símbolos dependem do interpretante porque é nele que reside a lei de associação ao objeto. Não dependem de si mesmos, como no caso dos ícones, para promover o significado porque não têm qualquer semelhança com o objeto. E não dependem de estar indicando fisicamente o objeto no instante em que são proferidas (como no caso dos índices), porque já existe uma associação da palavra com a ideia em questão (GOIS; GIORDAN, 2007, p. 37).

A indefinição sobre tal classificação sógnica também se encontra presente quando os autores classificam uma representação do tipo letra-bastão como sendo simbólica, como podemos ver na figura 12:

Figura 12 Exemplos de duas diferentes representações da molécula de butano.

Representação	Tipo de representação química	Categoria	
		Dimensão do conhecimento químico	Qualidade Semiótica
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	Fórmula estrutural condensada	Simbólica	Simbólica
	Objeto molecular virtual tridimensional	Submicroscópica	Ícônica

Fonte: Gois e Giordan (2007, p. 42).

Como veremos nas análises, ao considerarmos as letras enquanto signos capazes de representar determinado elemento químico, a mesma funcionará como símbolo dos mesmos, ao passo que estes são definidos por meio de convenções científicas.

Após o exposto, munidos de conhecimentos estruturantes da teoria semiótica peirceana, bem como as discussões tecidas sobre aproximações da semiótica com o mundo químico, avançaremos para a apresentação do modo como a pesquisa ocorreu, a fim de compreender o modo como as representações moleculares comunicam os conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases nos livros-texto selecionados.

3 METODOLOGIA

Figura 13 Mentol - de Alex Kobulnicky.



Fonte: <http://goo.gl/dSj9Iv>

A figura 13 é uma obra de Alex Kobulnicky¹³, intitulada “Mentol”. Em 2007, Kobulnicky começou a pintar moléculas, semelhantes às encontradas nos livros didáticos de química, por acreditar que as esferas coloridas dos modelos moleculares traziam em si um simbolismo profundo. A perspectiva apresentada pelo artista é ratificada ao compreendermos tais esferas enquanto signos capazes de representar entidades do mundo submicroscópico da química. Por exemplo, como apresentado no capítulo anterior, uma esfera presente em uma representação molecular do tipo bola-vareta, pode ser compreendida enquanto um signo que representa um átomo segundo a

¹³ Atualmente Kobulnicky mora em Portland, ME, e recentemente teve seu trabalho apresentado no “Chemical and Engineering News”, revista de negócios da American Chemical Society. Disponível em: <http://cen.acs.org/articles/88/i20/Chemistry-Acrylic-Canvas.html>

teoria de Dalton. Além desse exemplo, vimos ainda no capítulo II inúmeros outros signos capazes de comunicar o mundo molecular. E, com base na teoria de Peirce, foi possível compreender como os mesmos são articulados em um processo representacional de conhecimentos químicos.

Avançando nessas compreensões, mais especificamente em relação às representações moleculares na comunicação sobre ácidos e bases na química orgânica, ao buscarmos esclarecimentos sobre os questionamentos levantados nesta pesquisa, desenvolvemos o processo metodológico que apresentaremos neste terceiro capítulo.

3.1 DAS PARTES À ANÁLISE

A fim de investigarmos o processo que permeia a utilização das representações moleculares - enquanto um conjunto de signos, na comunicação de conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases na química orgânica - concebemos esta metodologia, de caráter majoritariamente qualitativo, com base nos referenciais teóricos da semiótica peirceana. A escolha dos conhecimentos relacionados a estas teorias se justifica tanto pela questão de que tais teorias estão presentes em todas as obras, além do fato de pesquisas relatarem dificuldades por parte dos estudantes na aprendizagem destas. Alguns exemplos são a dificuldade em justificar as forças de ácidos e bases (FERNANDEZ *et al.*, 2008); o equívoco de origem ontológica em conceber os ácidos representados em nível submicroscópico como sendo objetos, e não um sistema que media conceitos científicos; ou ainda o desconhecimento da diferença entre os conceitos de ionização e dissociação, dentro da teoria de ácido-base de Brønsted-Lowry. (CALLONE; TORRES, 2013).

Já a escolha da teoria de Peirce se deve ao fato de que esta possibilita a investigação sobre o que habilita um signo a agir enquanto tal, e como esse representa determinado objeto, além de indicar aspectos importantes para investigação e subsídios para sistematizar e analisar os dados obtidos nesta pesquisa (BOGDAN; BIKLEN, 1994 *apud* ROZENTALSKI, 2013), bem como contribuir para o processo de ensino desta ciência, como apontado por diferentes autores (SOUZA, 2012; WARTHA, 2013; GOIS; GIORDAN, 2007).

Pontuamos que, nesta pesquisa, não buscamos respostas para a pergunta “por quê”, mas sim para a pergunta “como”. Ou seja, como ‘algo’ pode ser considerado um signo de determinado objeto molecular. Ou ainda, como o mesmo se relaciona com o objeto molecular em um

processo de representação. Sendo estas duas indagações fundamentadas na estrutura da semiótica sobre o signo em um processo representacional, com base na própria teoria – semiótica – investigamos quais as propriedades sógnicas que habilitam determinado signo a agir enquanto tal, e qual o tipo de relação sógnica existente entre um signo ao representar determinado objeto do universo molecular. Lembramos que são três as propriedades que fundamentam o signo, estas baseadas na qualidade, existência e lei. Já o modo que estes signos representam, pode se dar por meio dos ícones, índices e símbolos. Assim, a teoria semiótica é usada tanto para a sistematização, quanto para análise dos dados.

Mesmo em menor proporção, o caráter quantitativo da pesquisa surge dos resultados oriundos do método desenvolvido por Bizzo (1991), no qual o autor define toda a área gráfica útil, ou seja, toda área impressa presente nas páginas de cada livro como área de mancha, e divide a mesma em dois tipos: i) área de mancha textual – área referente à textos – e ii) área de mancha de figura – referente à imagens não textuais. Tal método possibilitou comparar a quantidade de figuras entre os diferentes capítulos, pode-se comparar a “área de mancha de figura”. E para comparar a porcentagem do texto dedicado ao conhecimento em questão, pode-se comparar a “área de mancha de texto”.

Diferentemente de Bizzo (1991), que se aproximou suas análises mais da área de mancha de texto, nos focamos nesta pesquisa na área referente às figuras. Outra diferença é que análises não ocorreram dentro de um mesmo livro, mas sim entre diferentes livros, a fim de elucidar o modo que as representações são articuladas entre os principais livros-texto utilizados em cursos superiores de química orgânica.

De maneira análoga ao trabalho de Rozentalski (2013), ao investigarmos os livros-texto não pretendemos apontar possíveis erros conceituais. Como por exemplo, buscar identificar se o número de átomos representado da molécula se refere de maneira adequada ao número de átomos da molécula a ser representada, ou se os átomos estão dispostos espacialmente de maneira correta, ainda que de maneira grosseira – fruto da limitação da própria representação empregada – etc. Mas sim, elucidar a natureza das representações e como estas foram inseridas no processo de comunicação sobre os conhecimentos relativos a ácidos e base. Conseqüentemente, na medida em que os dados dialogarem com os referenciais teóricos, esperamos que as reflexões daí oriundas possam auxiliar na construção de novos olhares para as

representações moleculares como parte da linguagem química, como também propor novas estratégias para o seu ensino.

Assim, em nossa pesquisa foram analisados quatro livros-texto de química orgânica, volumes I ou único, utilizados no ensino superior. Considerando a recorrência com que esses livros são indicados como bibliografia básica das ementas de disciplinas do ensino superior, e a numeração mínima de exemplares dos mesmos – livros indicados – disponíveis no acervo das bibliotecas da Universidade, a escolha das obras, bem como de suas edições, se deram pelo fato das mesmas apresentarem o maior número de exemplares disponíveis em duas das principais bibliotecas utilizadas pelos estudantes de graduação em química da Universidade Federal de Santa Catarina. A primeira biblioteca é a Central, e a outra é a setorial do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, ambas localizadas no campus Trindade, na cidade de Florianópolis – SC. Já a opção de utilizar o volume I ou volume único, foi definida pela presença dos conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases nos mesmos.

A tabela 2 apresenta as obras selecionadas.

Tabela 2: Livros-texto selecionados para a análise.

	Nome da Obra	Autores	Edição	Volume	Ano
Livro 1	Química Orgânica	Morrison e Boyd	6 ^a	Único	1978
Livro 2	Química Orgânica	Solomons e Fryhle	8 ^a	1	2005
Livro 3	Química Orgânica	Bruice	4 ^a	1	2006
Livro 4	Química Orgânica Combo	McMurry	7 ^a	Único	2011

Fonte: da autora

Após a seleção dos livros-texto, avaliamos pelo sumário das obras, bem como pela análise das páginas, de maneira individual, referentes à introdução dos conceitos de ácidos e bases presentes em cada obra.

Definidas tais escolhas, pode-se conceber que a pesquisa se desenvolveu em dois grandes momentos. O primeiro visou apresentar um panorama geral da presença das representações moleculares enquanto parte da área de figuras, e o segundo centrou-se nas análises semiótica das representações moleculares. Destacamos que a primeira parte da nossa investigação possibilitou também ir além, ao passo que elucidou-se os tipos de figuras presentes nos espaços analisados de cada livro-texto.

Com base na divisão da área de mancha em área de mancha de texto e área de mancha de figura, utilizou-se de uma régua escolar de 30 cm para quantificar os dois tipos de áreas. Assim, considerando os milímetros inteiros como menor divisão da escala, medimos as respectivas alturas e larguras e, por meio do produto entre ambas, obtivemos os valores das áreas. A soma dessas áreas nos forneceu as estimadas relações entre áreas de mancha destinadas às figuras e áreas de mancha destinadas aos textos. Posteriormente os dados foram organizados graficamente por meio de valores percentuais referentes à cada área de mancha. Tendo a área de mancha de figura delimitada e quantificada, investigamos os tipos de figura presentes na mesma, bem como a relação de proporcionalidade entre os mesmos. As especificações dos tipos de figuras encontradas foram organizadas em uma tabela, acompanhadas das relações percentuais das mesmas em relação à sua presença na área total de mancha de figura das obras analisadas. Ao aprofundarmos o olhar para as áreas de figuras, delimitamos nossa atenção para as representações moleculares presentes em tal área no sentido de classificá-las e quantificá-las. Assim, por meio dos dados, propomos quatro grupos de figuras: as representações moleculares, os gráficos e tabelas, expressões matemáticas, fotografia e desenhos.

Após o levantamento dos tipos de representações moleculares, iniciou-se a etapa da análise semiótica. Para isso, ao considerarmos que os caracteres sígnicos atribuídos aos diferentes tipos de representações estão relacionados com os tipos de signos que as constituem, as representações moleculares foram organizadas em relação aos signos que as estruturam. Assim, as representações moleculares foram agrupadas em cinco tipos: letra/letra; letra/bastão; Lewis; M.P.E.; e M.P.E. com bola/bastão, e os mesmos foram analisados e apresentados em nível crescente de iconicidade.

Esta parte da investigação buscou esclarecer sobre o que capacita determinado algo a ser um signo de um objeto molecular, bem como

sobre o modo que este mesmo signo representa tal objeto molecular, os elementos que constituem as representações moleculares foram analisados com base na primeira e segunda tricotomia peirceana. Ou seja, analisadas com base no signo em si – primeira tricotomia – e na relação entre o signo com o objeto – segunda tricotomia. Os caracteres sgnicos encontrados majoritariamente contribuíram tanto para elucidarmos a natureza sgnica inerente às representações moleculares presentes nas áreas destinadas aos conhecimentos introdutórios sobre ácido e base, quanto para compreendermos a comunicação de conceitos mais pontuais como ocorrido na comunicação dos saberes relacionados à teoria ácido-base segundo Brønsted-Lowry e Lewis.

Nessa etapa, as áreas destinadas à comunicação da introdução de ácidos e bases nos livros-texto de química orgânica foram delimitadas ainda mais com o intuito de avaliar o modo que as representações moleculares são utilizadas para comunicar as teorias de ácido e base segundo Brønsted-Lowry e Lewis.

Tendo apresentado os passos de nossa investigação, acreditamos ser importante elucidar, ainda que isso tenha sido feito em detalhes em capítulos anteriores, algumas questões trazidas por Santaella (2002) em sua obra “Semiótica Aplicada” antes de apresentarmos nossas análises através das lentes de tal teoria.

3.2 REVISITANDO ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A SEMIÓTICA PEIRCEANA

Considerando a semiótica enquanto ferramenta de análise, essa deve ser aplicada com base na própria lógica interna das relações sgnicas presentes na teoria que a origina. Santaella (2002) pontua que a análise semiótica de uma representação inicia-se examinando a fundamentação do signo em suas três dimensões: i) qualidade; ii) existência; e iii) lei. Busca-se identificar quais delas se apresentam majoritariamente na estrutura do signo, ao passo que em um processo representacional o signo traz em si diferentes tipos de signos a fim de representar determinado objeto. Para isso devemos nos perguntar sobre qual é a dimensão sgnica que se destaca ao se apresentar a um intérprete. Relembremos algumas considerações sobre cada uma das três dimensões:

- Qualitativa: em relação ao caráter qualitativo do signo, referente aos quali-signos; Santaella (2002) pontua que a apreensão do objeto imediato do quali-signo exige do contemplador uma disponibilidade

para o poder de sugestão, evocação, associação e manipulação da aparência – cores, formatos, dimensão, textura, entre outras – que o signo exhibe. Sob esse olhar, o objeto dinâmico coincide com a qualidade de aparência do objeto (SANTAELLA, 2002);

- Existente: em relação ao caráter existencial do signo, ou seja, a análise será em relação ao sin-signo. O objeto imediato, neste caso, é a materialidade do signo como parte do universo ao qual o signo existencialmente pertence. Por exemplo, no caso de uma fotografia, o objeto imediato está no enquadramento e no ângulo específico que a foto apresenta o objeto fotografado. A imagem – o objeto – na foto é parte de um algo maior, que não pode ser capturado pelas lentes da máquina;

- Lei: em relação ao signo enquanto uma lei, o qual se refere ao legi-signo enquanto fundamento. Este tipo de signo é um recorte que o objeto imediato apresenta do seu objeto dinâmico (SANTAELLA, 2000). No legi-signo, aquilo que o objeto imediato representa é ele próprio um signo, nos direcionando diretamente para o objeto dinâmico.

Para a autora, falar em objeto dinâmico significa falar da maneira que o signo remete àquilo que ele intenta representar, pois mesmo sendo o objeto dinâmico a entidade que determina o signo, só temos acesso ao que nos é permitido apreender do objeto dinâmico pela mediação do objeto imediato – sendo este último um elemento interno ao signo.

Sobre as relações estabelecidas entre signo e objeto, Santaella (2012) coloca que investigar essa relação é explorar o poder sugestivo, indicativo e representativo dos signos, ou seja, é entender esses enquanto índices, ícones e símbolos. Souza (2012), do mesmo modo que Santaella (2002), pontua que para analisarmos as relações existentes entre signo e objeto, faz-se necessário recorrer à primeira tricotomia peirceana, que diz respeito à relação do signo em si, o seu fundamento.

Destacamos que, ao considerarmos a relação entre o signo e o objeto, o instrumento de análise foi adaptado de modo a considerar o conhecimento químico dentro de um processo de ensino e aprendizagem, como sendo o objeto a ser representado e as imagens e textos que compõem os livros-texto como signos capazes de comunicar tal conhecimento. Assim, concordando com Souza (2012),

nas situações de ensino e aprendizagem, o conhecimento químico e sua forma de produção assumem o papel de objeto, e que as ilustrações e textos que compõem os livros didáticos consistem

em estratégias de comunicação, ou seja, signos, as relações icônicas, indexicais e simbólicas (relações signo-objeto) assumem especial relevância (SOUZA, 2012, p. 125).

Neste contexto, ao considerarmos uma esfera enquanto representação de determinado átomo, não iremos relacioná-la com a existência de um determinado átomo esférico, presente na natureza, mas sim a uma teoria atômica que sustenta os conhecimentos relacionados a tais átomos.

Por fim, apresentamos algumas questões a serem consideradas no processo de análise semiótica, trazidas por Santaella (2002):

i) A semiose é um processo ininterrupto, de maneira que ao realizarmos uma análise de natureza semiótica, se faz necessário delimitar as relações estabelecidas entre as entidades sógnicas. Tais delimitações podem ser direcionadas por duas indagações: O que afinal queremos revelar com a análise? Quais objetivos ela visa atingir?;

ii) O signo é múltiplo, variável, se modifica de acordo com o olhar do observador, e apresenta uma determinada autonomia em relação ao intérprete. O intérprete, neste caso, apenas entra em contato com alguns níveis de um poder que já está no signo. Diante disso, analisar algo semioticamente é empreender um diálogo de signos, “no qual nós mesmos somos signos que respondem a signos” (SANTAELLA, 2002, p. 42).

iii) Ao analisarmos algo semioticamente sempre estaremos na posição de um intérprete singular, por este motivo, passível de falhas. Santaella (2002) destaca que por este motivo a nossa responsabilidade só aumenta, pois toda semiose apresenta uma objetividade semiótica a ser respeitada;

iv) Os caracteres do signo referentes à iconicidade, indexicalidade e simbolicidade não se apresentam solitariamente nos signos, pelo contrário, estes são aspectos presentes em todos os processos sógnicos. O que ocorre, muitas vezes, é que existe uma predominância de um dos aspectos sobre os demais. Assim, nenhum signo deve ser classificado de maneira taxativa, ao passo que o mesmo é composto de diferentes tipos de signos;

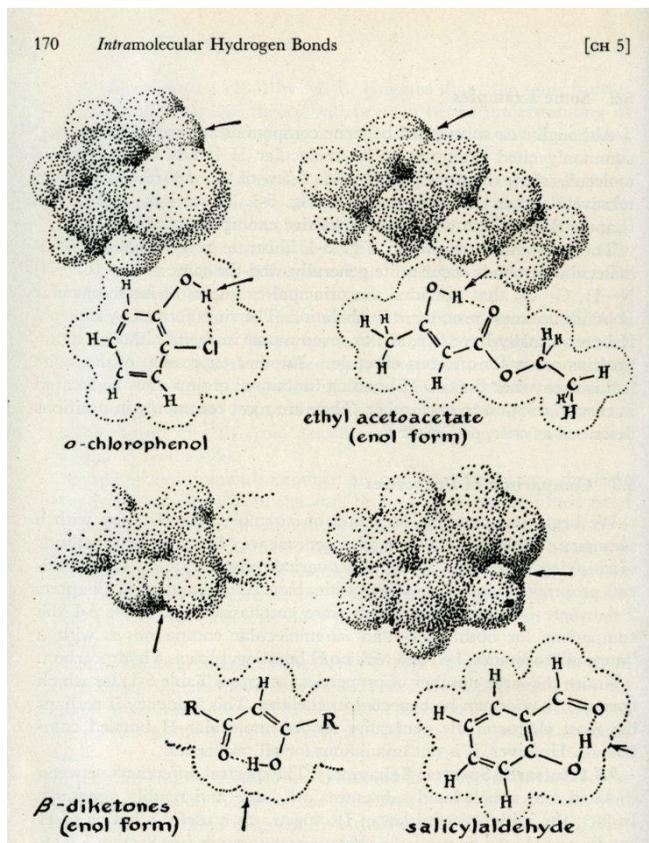
v) Não existe nenhum processo que defina infalivelmente um processo de semiose, pois tudo depende do meio em que ocorre a apresentação do processo e a análise do mesmo. Ou seja, não há receitas prontas para se analisar semioticamente. Porém, isso não exclui a

necessidade de existir uma heurística na realização das análises sobre esta perspectiva.

Tendo descrito o trajeto metodológico e retomado algumas colocações sobre a teoria que direcionará as nossas investigações, apresentamos, agora, os dados e suas análises referentes à investigação das representações moleculares no processo de comunicação de conhecimentos sobre ácidos e bases, presentes nos livros-texto de química orgânica selecionados.

4 ANÁLISE DAS REPRESENTAÇÕES MOLECULARES

Figura 14 Reprodução de ligações de hidrogênio intramoleculares” por Roger Hayward, para o livro "The Hydrogen Bond", por George C. Pimentel e L. Aubrey McClellan - 1960.



Fonte: <http://goo.gl/YsoZ4s>

Novamente trazemos exemplares de representações moleculares de Hayward. Como podemos observar, diferentemente da figura introdutória do capítulo II (figura 4), que traz um estilo de desenho mais artístico e refinado, a figura 14 se apresenta em branco e preto, com um estilo mais esquemático – devido às setas para indicar determinadas

regiões na molécula e a utilização de diferentes recursos visuais na representação de uma mesma molécula.

A Figura 14 traz quatro compostos moleculares diferentes, que por sua vez são representados pelos mapas de potencial eletrostático construídos a mão pelo ilustrador. Juntamente com cada mapa de potencial, acompanham representações que identificam os átomos e as ligações que compõem os mesmos. Notamos, ainda, que são utilizadas setas a fim de indicar as ligações intramoleculares do hidrogênio.

A dinâmica de ilustrar um mesmo objeto por meio de representações diferentes já foi identificada no trabalho anterior de Hayward, que após as aclarações emergidas da teoria semiótica, podemos entendê-la enquanto opção do ilustrador em oferecer ao observador um maior número de informações sobre a realidade molecular, haja visto o caráter de incompletude de uma representação. Tal teoria também auxiliou na compreensão de que este “maior número de informação” é possibilitado pela utilização de diferentes signos, sejam eles em uma mesma representação, ou em representações complementares. No ensino de química, em especial, a utilização de diferentes signos em um processo de comunicação de conhecimentos, auxilia também na transição entre o mundo macro e submicroscópico pelos estudantes.

Mas o que são esses diferentes tipos de signos? O que fazem os mesmos serem diferentes? Como discutido em outros momentos, todos os signos se fundamentam, em menor ou maior porcentagem, por meio das propriedades de qualidade, existência e lei. Já, ao se relacionar com o objeto, tais signos assim o fazem, por meio dos ícones, índices e símbolos.

Ampliando essas questões para o mundo da química orgânica, e retomando um dos questionamentos diretores dessa pesquisa, nos indagamos: e na comunicação dos conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases em química orgânica, quais são as representações moleculares utilizadas em tal processo? Quais os tipos de signos que constituem tais representações? E esses signos, quais as propriedades e caracteres sógnicos que os mesmos trazem?

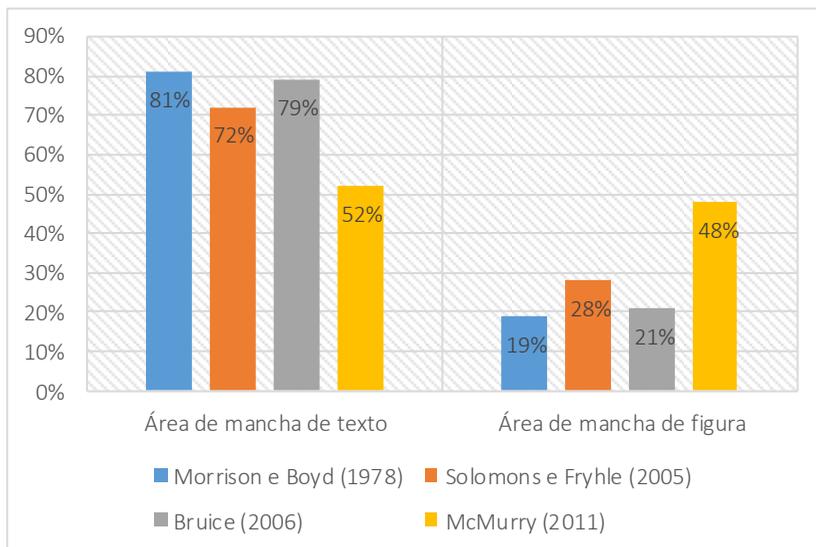
Como visto no capítulo anterior, devido a essas e outras questões que envolvem o papel das representações na comunicação dos conhecimentos selecionados, propusemos trajetos metodológicos que nos permitiram desenvolver nossas investigações. E são os dados oriundos de tais passos que apresentaremos nesse capítulo.

Assim, a coleta e análise ocorreram em dois grandes momentos. O primeiro, relativo à identificação e seleção das representações moleculares enquanto parte da área de mancha de figuras dos livros de química orgânica selecionados. E o segundo, relativo à análise e classificação de como as mesmas – representações moleculares – comunicam os conhecimentos em questão.

4.1 ANÁLISES DAS ÁREAS DE MANCHA DESTINADAS À INTRODUÇÃO DOS CONCEITOS SOBRE ÁCIDOS E BASES NOS LIVROS-TEXTO SELECIONADOS

Os dados referentes às áreas de mancha de textos e figuras oriundos dos quatro livros-texto analisados foram reunidos e sistematizados no seguinte gráfico:

Gráfico 1: Proporção entre as áreas de manchas de texto e de figuras dos livros-texto de química orgânica



Fonte: da autora

Os primeiros dados, apresentados no gráfico 1 em ambas categorias, são referentes ao livro-texto “Química Orgânica”, dos autores Morrison e Boyd (colunas identificadas pela cor azul). Todos os elementos da área gráfica útil – referente a área impressa – da edição analisada são de cor preta. A obra em questão, ao comunicar os conteúdos introdutórios sobre ácido e base, utiliza 81 % de sua área total de mancha em textos e 19 % em figuras. Sendo esta a obra que apresenta a menor área destinada à utilização de figuras.

O segundo livro-texto analisado, “Química Orgânica”, de Solomons e Fryhle (2005) (indicado pela cor laranja no gráfico), traz sua parte gráfica majoritariamente composta da cor cinza, e uma menor parte, presente em um encarte colorido complementar aos capítulos e localizado no início da obra. Em relação às áreas de mancha, a obra apresenta 72 % destinada a textos e 28 % destinada a figuras.

A terceira obra, “Química Orgânica”, de Bruice (indicado pela cor cinza), apresenta a parte gráfica do livro majoritariamente composta da cor preta, com escalas em cinza e azul. Semelhante ao livro-texto anterior, a obra traz em seu interior um encarte colorido complementar aos capítulos. Este é localizado no meio da obra, e apresenta uma paleta de cores diversificadas. Sobre as porcentagens das áreas de mancha, o mesmo apresentou 79 % destinada à área textual, e 21 % à área de figuras.

Por fim, o quarto livro analisado é “Química Orgânica Combo”, do autor McMurry, é representado pela coluna de cor amarela no gráfico 1. As porcentagens referentes às áreas de mancha são de 51 % de textos e 48 % de figuras. A sua parte gráfica apresenta-se majoritariamente da cor preta, principalmente em relação à área textual, e em sua minoria, uma paleta de inúmeros tipos de cor.

Por meio dos dados, constatou-se que as áreas destinadas às figuras, da primeira para a segunda obra aumenta, mas da segunda para a terceira diminuiu e depois aumenta significativamente.

Nota-se que a obra que apresenta maior área de mancha de figura, a de McMurry, é a mesma que traz uma paleta de cor diversificada na própria área de mancha analisada, e não em um encarte colorido como a segunda e terceira obra. Estas últimas apresentam, respectivamente, 28 e 21 % de área de mancha de figura.

Ao olharmos mais atentamente a área de mancha de figura de cada livro-texto, com o intuito de investigar a média da presença das representações moleculares que dialogam diretamente com o texto, ou seja, as que os autores utilizam a fim de explicar os conhecimentos em

questão, presentes na área de mancha de figura, obtivemos o percentual de cada tipo de figuras presentes no somatório das áreas de mancha de todas as obras. Os resultados são ilustrados na tabela a seguir:

Tabela 3: Percentual de cada tipo de figura presente nos livros-textos de química orgânica.

Tipos de Figuras	Percentual
Representações moleculares	94%
Gráficos e tabelas	3%
Expressões matemáticas	2%
Fotografia e desenhos	1%

Fonte: da autora

Com base nos dados, constata-se que quando investigamos os meios não textuais utilizados no processo de comunicação sobre ácidos e bases nos livros-textos supracitados, encontramos as *representações moleculares*¹⁴ como majoritárias em tal processo, tendo estas 94% da presença. Os outros 6 % são distribuídos entre os *gráficos*, *expressões matemáticas*, *fotografia e outros*, com 3 %, 2 % e 1 %, respectivamente.

Neste contexto, apontamos para o fato de que mesmo dada a importância da linguagem imagética, na construção e na comunicação dos conhecimentos químicos, em especial em química orgânica (GOODWIN, 2009), todos os livros priorizaram o espaço destinado a área de mancha textual sobre a área de mancha de figuras, e da parte destinada a área de figura, ou seja, a área não textual, a comunicação dos conhecimentos sobre ácidos e bases ocorre majoritariamente por meio das representações moleculares, que foram praticamente hegemônicas nessas áreas. Como veremos, estas representações se apresentam em diferentes contextos, como por exemplo, mecanismos reacionais, dispostas dentro de tabelas ou gráficos, em expressões matemáticas, em

¹⁴ Não foram analisadas as representações moleculares contidas em desenhos ilustrativos ou que não dialogasse com o corpo de conhecimento relacionado com o texto em questão.

conjunto com valores de pK_a , e muito comumente presente em diferentes tipos de escalas utilizadas para comunicar as forças ácidas e básicas das diferentes entidades químicas. Tal constatação reforça a importância, que vem sendo aqui ressaltada, das representações moleculares no processo de comunicação dos saberes introdutórios sobre ácidos e bases em livros-texto de química orgânica. E, assim, sua relevância nos desenvolvimentos e formulações conceituais que os estudantes gradativamente vão elaborando no contato com essa área do conhecimento químico.

4.2 TIPOS E PORCENTAGENS DE REPRESENTAÇÕES MOLECULARES PRESENTES NAS ÁREAS DE MANCHA ANALISADAS

A classificação e a quantificação de cada tipo de representação molecular, presentes nas áreas analisadas, originaram a seguinte tabela:

Tabela 4: Percentual de tipos de representações moleculares presentes nos livros-texto analisados.

	Morrison e Boyd (%)	Solomons e Fryhle (%)	Paula Bruice (%)	McMurry (%)
Letra/letra	58,0	10,0	58,0	12,5
Letra/Bastão e Lewis	42,0	80,5	35,0	62,0
M.P.E.* com bola/bastão	0	9,0	2,0	25,5
M.P.E.*	0	0,5	5,0	0

Fonte: da autora *Mapas de potencial eletrostático

Como podemos observar, os livros-texto analisados, ao introduzirem os conhecimentos relativos à ácidos e bases, utilizam-se de cinco tipos de representações moleculares, sendo as do tipo letra/letra e letra/bastão as mais utilizadas em todas as obras.

Ambas representações dividem a mesma importância nos livros: nas obras dos autores Morrison e Boyd (1978) e Bruice (2006) letra/letra é a representação preferencial; e nas outras duas, letra/bastão é a maior porcentagem.

As representações do tipo letra/letra são o segundo tipo de representação mais utilizada nas obras em questão, tendo sua concentração, nas obras dos autores Morrison e Boyd (1978), e da autora Bruice (2006), com 58% cada, seguida de 12,5 % na obra de McMurry (2011), e 10 % na obra dos autores Solomons e Fryhle (2005).

Já os mapas de potencial eletrostático com bola/bastão, estão presentes em apenas três das obras selecionadas, sendo estas McMurry (2011), Solomons e Fryhle (2005) e Bruice (2006). Estas apresentam, respectivamente, 25,5 %, 9 % e 2 % de presença nas representações utilizadas. Os mapas de potencial “puros”, ou seja, sem as representações do tipo bola/bastão, apresentam-se apenas na obra de Bruice (2006), com 5 %, e na dos autores Solomons e Fryhle (2005), com 0,5%.

Por fim, as representações relativas às de Lewis se apresentam em todas a obras, representando um percentual relativo à 1,5 %, 3,5 %, 0,5 %, 2,0 %, respectivo à organização cronológica de tais obras, como apontado no gráfico 1.

O fato das representações do tipo letra/letra e letra/bastão ocuparem a maior parte dos livros-texto – que por sua vez trazem sua parte gráfica com uma paleta de cor monocromática ou com limitações das mesmas e de recursos gráficos mais sofisticados - notamos que na obra que apresenta a maior diversidade em sua paleta de cor, a saber, a do autor McMurry (2011), é também a obra que mais faz uso dos M.P.E., que é necessariamente composto por uma diversidade de cores. Tal fato nos leva a refletir que a escolha de determinadas representações pode ser direcionada por limitações impostas pela própria editora, por custos, por recursos gráficos, etc. Mesmo podendo ser um fator considerável, o mesmo não deveria ocorrer, pois as ilustrações também fazem parte da linguagem da química.

Ainda destacamos o fato da grande parte das representações moleculares presentes nas obras dos autores Solomons e Fryhle (2005) e McMurry (2011) se encontram organizadas em tabelas, ou

comparativa, na qual se faz necessário dois ou mais compostos para que a seta, por exemplo, possa indicar o sentido do aumento de determinada força. No caso das figuras em questão, além da seta e dos sinais de maior e menor, as próprias representações moleculares podem ser consideradas signos complementares, ao passo que existe a dependência comparativa entre as forças ácidas ou básicas.

Assim, identificação dos tipos e porcentagem das representações moleculares presentes em cada um dos livros-texto em questão possibilitou que elas fossem agrupadas segundo semelhança entre os signos que as constituem. Um modo de analisar os signos é por meio da comparação relativa entre o grau de iconicidade das mesmas.

4.3 REPRESENTAÇÕES MOLECULARES E SEUS GRAUS DE ICONICIDADE

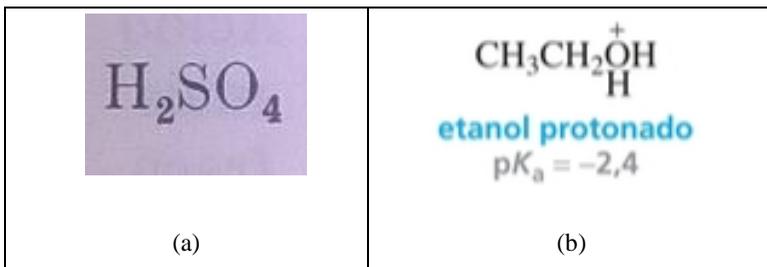
Com base no exposto, apresentaremos nos próximos subtópicos uma análise do grau de iconicidade de cada tipo de representação molecular, encontrada nas obras analisadas, a fim de elucidar as implicações dos diferentes tipos de signos na constituição das mesmas – representações moleculares. Como veremos, além dos signos que compõe as estruturas de cada tipo de representações moleculares, e os signos extras, identificou-se signos capacitados a agregar informações que não são possíveis por meio dos signos estruturadores nem pelos extras – ao passo que diz respeito a informações de uma molécula em um contexto isolado. Tais signos foram denominados por nós de “signos complementares”. Eles são todos os signos que acompanham os signos que participam da estrutura de determinado tipo de representação molecular, mas que não estão necessariamente presentes em tais estruturas. Por exemplo, as representações do tipo letra/bastão são compostas, por letras representando os átomos de elementos químicos e os bastões representando as ligações químicas, mas em alguns casos, a fim de comunicar as cargas que podem acompanhar algum dos elementos que as constituem, utilizam-se de sinais matemáticos para representar tais cargas – sinal de mais (+) para a carga positiva e sinal de menos para carga negativa (-). Assim, tais signos – sinais de mais e menos – não fazem parte do signo ou do grupo de signos que compõe determinado tipo de representação molecular, mas podem ser utilizados em determinadas situações como complementos na comunicação de determinadas informações. Outros exemplos são as setas utilizadas para demonstrar, por meio de uma representação, a “rota” de um H, as letras

coloridas para representar o caráter ácido ou básico de um composto, entre outros que serão discutidos no decorrer das análises.

4.3.1 Representações do tipo letra-letra

As representações do tipo letra/letra (figuras 17) que, como o próprio nome sugere, são constituídas de letras, que se organizam dispostas uma do lado da outra - um nome muito usual, entre os químicos, para este tipo de representação é ‘fórmula molecular’. Já os numerais, enquanto signos complementares, representam o número de átomos idênticos contidos na molécula. Como é o caso do oxigênio da molécula de ácido sulfúrico (figura 17a), em que o numeral 4 subscrito ao seu lado indica a presença de quatro átomos de oxigênio na molécula.

Figura 17 Representações do tipo letra/letra: (a) ácido sulfúrico; (b) álcool protonado.



Fonte: (a) Morrison e Boyd (1978); (b) Bruice (2006)

Ao nos defrontarmos visualmente com as letras das representações, os elementos que constituem as mesmas, principalmente em relação a seu formato, não apresentam em sua estrutura referência a objetos específicos, ao passo que remetem a uma classe geral, isto é, o C representa uma ideia de carbono geral. E nem representam qualidades específicas dos elementos em questão. Porém, ao serem regidos por uma propriedade de lei, se tornam capazes de se desenvolverem enquanto signos de um determinado objeto. Isto se deve ao fato de que as letras constituem-se em sistemas codificados, e sem o recurso dos legi-signos seria impossível compreender os mesmos. Assim, os legi-signos são os principais estruturadores sígnicos que habilitam as letras a atuarem enquanto possíveis signos.

Lembramos que os signos só se reportam a algo ao passo que, de alguma forma, trazem em si algum elemento relacionado deste algo, seja em sentido icônico, indexical ou simbólico. Assim, ao investigarmos sobre a relação do signo com seu objeto imediato, destacou-se majoritariamente a presença do caráter simbólico. Este entendimento é devido ao fato de que a intenção de representação destinada às letras está totalmente vinculada a leis e convenções.

No caso das letras, as leis que as determinam a representarem determinado objeto têm origens tanto na estrutura de determinada língua, quanto em convenções científicas. Em relação à língua, na medida em que cada letra se enquadra a um sistema em que sua significação é convencionalizada a corresponder com determinado grafema que lhe representa unicamente, e não a qualquer outra. E científica, no sentido que determinada letra é convencionalizada pela comunidade científica a representar um elemento químico em específico.

Em relação aos numerais em subscrito ao lado direito de uma letra, mesmo apresentando um caráter existencial significativo, ao passo que tem a intenção de indicar a existência de determinada quantidade de átomos de um elemento químico. Semelhante às letras, tanto o seu fundamento, quanto sua relação com o objeto, só se desenvolvem com bases nas convenções adotadas pela comunidade química.

Na figura 17(b), podemos constatar o sinal de mais (+) como um signo complementar da estrutura molecular, neste caso, com o intuito de representar informações sobre a carga positiva disposta na região do oxigênio. Encontramos ainda um dos hidrogênios da molécula não mais representado por numerais, mas sim pela presença de dois hidrogênios dispostos sobre um ângulo de 90° , um em relação ao outro.

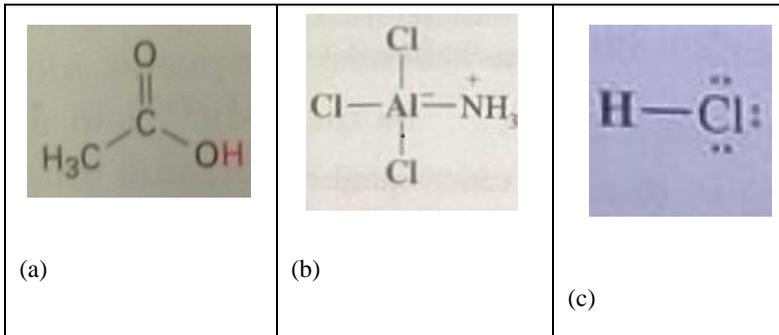
É importante destacarmos que o princípio de atribuir a natureza do signo se dá pela comparação relativa. Não dá para atribuir a natureza do signo por si. Assim, a segunda representação ainda que seja de natureza simbólica, tal como a primeira, possui também aspectos icônicos relacionados ao objeto.

4.3.2 Representações do tipo Letra/bastão e Lewis

Além de trazerem na primeira tricotomia os legi-signos e na segunda os símbolos enquanto signos estruturadores das letras, que por sua vez representam os diferentes elementos químicos, as representações do tipo letra/bastão e Lewis compartilham da presença dos bastões em

suas estruturas (fig. 18) a fim de representar as ligações existentes entre os elementos constituintes das moléculas em questão.

Figura 18 Diferentes representações moleculares do tipo letra/bastão.



Fonte: a) e b) McMurry (2011); Morrison e Boyd (1978);

Ao investigarmos o caráter que capacita os bastões a agirem enquanto signos, observamos que o meio com o qual tal elemento se apresenta a um intérprete: - um traço preto entre duas letras – caracteriza-se majoritariamente como um legi-signo. Diferentemente dos tipos de representações anteriores, o signo aqui já se refere a um particular. Mesmo com a possibilidade de se argumentar que a fórmula molecular também se refere a um particular, lembramos que uma mesma fórmula molecular pode dar origem a diferentes estruturas, de modo a se associar o signo a diferentes objetos, ou seja, um legi-signo. No caso das representações do tipo letra/bastão, esta ambiguidade diminui, pois o acréscimo de aspectos icônicos na representação diminui a dúvida e delimita mais claramente o objeto representado.

Já em relação ao seu objeto, compreendemos os bastões enquanto signo icônico por trazerem certas características de qualidades referentes aos conhecimentos sobre a ligação química. E, especificamente, do tipo *diagrama*, pois faz referência não à similaridade direta mas às relações internas da molécula, como por exemplo, interação e distância interatômica. Nesse sentido, destaca-se que, o próprio fato dos bastões estarem inseridos entre duas letras já possibilita que se interprete que existe um algo que liga uma letra a outra. Ou poderíamos ainda pensar que, ao considerar uma ligação covalente enquanto uma situação que existe compartilhamento de elétrons, os bastões poderiam representar,

por exemplo, um percurso dos elétrons compartilhados entre os átomos envolvidos.

Lembramos que as qualidades aqui discutidas não dizem respeito às semelhanças no nível da aparência entre signo (representação da ligação) e objeto (ligação), mas às qualidades enquanto semelhanças na operacionalidade do signo. A operacionalidade neste caso significa extrair informações posteriores por meio do signo aos quais não eram aspectos fundamentais na concepção do mesmo. No caso da nossa investigação, a operacionalidade se manifesta na discussão do emprego de ácido e base, em que novas informações são extraídas por meio dos signos. Por exemplo, a utilização da cor rosa em um dos hidrogênios (H) do ácido carboxílico (figura 18a). Tal destaque representa que será este o hidrogênio que será liberado em uma reação ácido-base.

Na figura 18b, semelhante os tipos de representações anteriores anterior, observamos a utilização dos sinais de mais e menos (+/-), enquanto signos complementares, a fim de representar as cargas eletrônicas positivas e negativas pertencentes, respectivamente, ao nitrogênio e ao alumínio. Como vimos, esses signos são estruturados majoritariamente pelos legi-signos e símbolos.

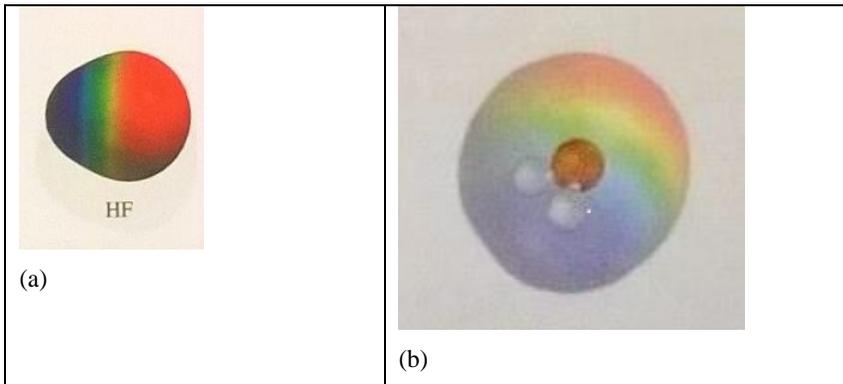
Por fim, as representações de Lewis, as quais visam representar o compartilhamento dos pares de elétrons por meio de um bastão, podem ser consideradas como sendo uma representação do tipo letra/bastão modificada, visto que essa agrega à representação a existência de pares eletrônicos por meio da representação destes por dois pontos (:). Devemos lembrar que, ao propor esse tipo de representação, Lewis buscava entender as reações químicas segundo o ponto de vista da regra do octeto. Assim, as representações de Lewis visam evidenciar o número de elétron de valência e, por consequência, deduzir-se quantos elétrons o átomo precisaria para atingir a estabilidade. Os pares de elétrons podem, ainda, ser utilizados pela Teoria de Repulsão dos Pares Eletrônicos, para se determinar a geometria da molécula, e auxiliar na compreensão dos mecanismos de reação. Destacamos o fato do aumento de iconicidade dentro de um mesmo tipo de representação ao serem utilizados signos complementares às representações letra/bastão.

4.3.3 Representações do tipo M.P.E. e M.P.E. justaposto à bola/bastão

Como podemos visualizar, diferentemente dos signos que compõem as representações moleculares anteriores, os M.P.E. (figura

19) se destacam pela suas formas e cores. Assim, devido a estes se apresentarem a um intérprete por meio de suas imediaticidades qualitativas, dentro da primeira tricotomia os signos que configuram essa mediação são considerados como sendo majoritariamente quali-signos.

Figura 19 Representações do tipo M.P.E: a) M.P.E; b) M.P.E. justapostos com bola/bastão.



Fonte: a) Solomons; Fryhle (2005); McMurry (2011)

Como vimos, os quali-signos não necessitam do estabelecimento de relações com um algo para existir enquanto tal. Lembrando Santaella (2000, p. 97), o quali-signo “pode muito bem ficar encapsulado nesse nível, sem qualquer comparação com algo que lhe seja semelhante, sem qualquer discriminação daquilo que lhe dá corpo e sem qualquer intelecção da lei que nele se atualiza”. Por exemplo, ao tomarmos a cor vermelha nela mesma, de modo puro, sem considerar onde ela está corporificada ou o seu contexto. Vemos que por si própria, a mesma é capaz de desenvolver no intérprete uma cadeia associativa, que o faça lembrar da cor de sangue, da bandeira de partidos de esquerda, faixa de ciclovias, fogo, sentimento de paixão, entre outros. O vermelho não é propriamente o sangue, ou o fogo, mas pode lembrar ambos. E é esse poder de sugestão de uma mera qualidade, que capacita a mesma a desenvolver um papel de signo. O mesmo se aplica aos traçados que delimitam os mapas, os quais originam seus formatos.

Ao investigarmos a relação entre o signo e seu objeto, ou seja, a segunda tricotomia peirceana, vemos que os M.P.E., principalmente

devido a sua forma – que se remete à superfície de potencial da molécula e, assim, à sua distribuição eletrônica espacial - ao representarem características do objeto a ser representado, assim o fazem, majoritariamente, por meio de ícones. Tal caráter sógnico se deve ao fato dos ícones serem signos que se reportam ao seu objeto por similaridade. Já em relação à outra característica marcante dos M.P.E., a utilização de diferentes cores, será aqui considerada como apresentando um caráter signico majoritariamente de hipoícone diagramático. Lembramos que, a similaridade neste caso não está na aparência, mas sim em relações internas entre o signo e seu objeto, uma vez que não existe na molécula uma cor azul ou vermelha dependendo de onde os elétrons estejam. Assim, como visto, a variação da densidade eletrônica das moléculas é associada à uma variação em uma escala crescente/decrecente, a saber: a escala da região visível do espectro eletromagnético.

Avançando na compreensão das cores neste contexto, vemos ainda que, considerando a convenção assumida em relação às cores e às densidades de cargas – vermelha para maior densidade e azul para menor densidade – dizemos que o lado menor do mapa, referente à cor azul, é o local de menor densidade. Já o maior lado, o lado referente à cor vermelha, apresenta a maior densidade. Destacamos que, embora ela tenha natureza icônica, essa é acompanhada por uma manifestação simbólica forte por conta da atribuição de cores, aparentemente e em certa medida, arbitrárias para designar um comportamento físico distinto. Tal caráter simbólico se deve ao fato de que as cores dos M.P.E. devem ser entendidas por meio da ideia de diferentes probabilidades, e essa não vem pela representação em si. Assim compreendemos esse tipo de representação constituída majoritariamente por quali-signos icônicos.

Em relação aos M.P.E. justapostos aos do tipo bola/bastão, encontramos as mesmas relações sógnicas presentes nos M.P.E. apresentados anteriormente, agregadas às existentes nos signos pertencentes às representações do tipo bola/bastão.

Iniciando o caminho semiótico, ao investigar a propriedade que permite que os fenômenos desempenhem o papel de signos de um determinado objeto, encontramos a presença majoritária de signos do tipo sin-signos, tanto nas esferas, quanto nos bastões.

Conforme vimos, o sin-signo se estabelece enquanto tal dentro de uma relação diádica na qual existe a identidade sógnica que tal signo carrega. Assim, os bastões vistos como sin-signos se referem à possibilidade destes em representarem a existência de átomos ligados

entre si em uma molécula. Já a utilização de diferentes tamanhos de esferas para representar os átomos, além de apontar as proporções relativas – ou tamanho relativo – dos diferentes átomos, permitem distinguir a existência de diferentes átomos em tais moléculas.

Ainda por meio desse tipo de representação, a possibilidade de se visualizar a disposição espacial de uma molécula é considerada como sendo um aumento da iconicidade sobre a mesma, ou seja, um novo aspecto foi acrescentado à representação.

Ao investigarmos a relação de tais representações ao objeto, tanto as esferas quanto os bastões, representam os átomos por meio de relações de semelhança e, assim, são tomados como ícones: no caso das esferas, a semelhança se dá por similaridade, pois, as esferas enquanto signos se remetem à uma interpretação da constituição fundamental da matéria (dos átomos enquanto partículas indivisíveis) consonante à teoria atômica de Dalton. Já no caso do bastão, como já visto, a semelhança se dá entre relações internas, e assim, foram tomados como hipoícones diagramáticos.

Assim, podemos compreender que o fator que determina a capacidade representacional dos mapas justapostos às bola/bastão é o caráter sógnico que pertence a cada um dos signos nele presentes. Como vimos, as representações do tipo M.P.E. justapostos aos bola/bastão, por mais que tragam em si o caráter signo simbólico pelo simples fato de ser uma representação de um modelo científico, é o caráter icônico que prevalece, ao passo que os mesmos trazem mais semelhanças com os objetos que pretendem representar – neste caso as teorias que os envolvem – e por permitirem previsões sobre fenômenos relativos ao mundo molecular, ou mesmo, ao considerar a relação mais primária – no sentido da primeiridade peirceana – entre os signos e o intérprete, o mesmo pode no mínimo distinguir a existência de um algo monocromático ou colorido, ao observar determinado M.P.E., ou ainda diferenciar a existência de diferentes tamanhos entre as esferas que se presentificam no interior dos M.P.E. quando justapostos ao bola/bastão.

As diferenças apresentadas entre as características sógnicas dos diferentes tipos de representação evidenciaram a necessidade de adequar o conhecimento que se pretende comunicar e o tipo de representação para mediar tal comunicação. Como visto, as representações letra/letra, além de apresentarem uma limitação ao comunicarem informações sobre as qualidades relativas aos objetos moleculares, necessita muito mais do auxílio de signos complementares e extras, e conseqüentemente não possibilita a mesma previsão de fenômenos relativos ao mundo

submicroscópico da química, quando comparada aos M.P.E. justapostos à bola/bastão, por exemplo. Exemplos da diferença de comunicação entre as representações consideradas de menor e maior caráter icônico entre aos grupos dos diferentes tipos de representações podem ser vistos em alguns dos casos em que a utilização das representações dos M.P.E. justapostos à bola/bastão, sintetizaram ou substituíram informações antes intermediadas por diferentes conjuntos de informações: na obra da autora Bruice (2006) ao comunicar os saberes relativos às relações entre eletronegatividade, estabilidade das bases e força ácida; e na do autor McMurry (2006), ao não fazer uso das escalas – compostas por setas e sinais de maior e menor – tão utilizadas entre os autores para comunicar escalas de forças ácidas e básicas.

Como apresentado, ao agruparmos as representações moleculares por semelhanças entre os signos que as compõem, identificamos que as mesmas são compostas por diferentes relações sógnicas, ao passo que coexistem diferentes propriedades que habilitam os signos a desenvolverem tal papel, e diferentes relações estabelecidas entre os mesmos – signos – e o objeto que representa. Além dos tipos de representações moleculares terem sido apresentadas em ordem crescente de grau de iconicidade, dentro de cada uma também pode-se identificar diferenças de iconicidades, como no caso do aumento de informações sobre a disposição dos elementos na estrutura de uma molécula a substituir nas representações do tipo letra/letra por uma letra/bastão.

Lembramos novamente que, em qualquer uma das classificações propostas, os caracteres sógnicos apontados não constituem os signos de maneira totalitária, apenas de maneira majoritária. Ou seja, em maior ou menor grau, as três propriedades que habilitam um signo a ser enquanto tal, e os três tipos de relações sógnicas presentes entre o signo e o objeto coexistem em um mesmo signo.

Sobre o forte caráter simbólico das representações do tipo letra/letra, bem como da letra/bastão, devido à composição da presença majoritária dos legi-signos na primeira tricotomia, e dos símbolos na segunda tricotomia, enquanto signos majoritários na constituição das letras, e os sin-signos e os ícones, nas respectivas primeira e segunda tricotomia, também signos majoritários na constituição dos bastões, as representações letra/letra e letra/bastão são compreendidas enquanto a primeira e a segunda representação, respectivamente, mais simbólicas das utilizadas pelos autores das obras analisadas. Uma vez que as representações do tipo letra/letra apresentam o caráter sógnico majoritariamente relacionado à terceiridade, ou seja, relacionado ao

caráter de generalidade, de lei, e convenções, elas requerem do intérprete operações mentais mais sofisticadas a fim de compreender as informações que intentam representar por meio de tais signos. Destaca-se também a necessidade de maior auxílio de signos complementares, e conseqüentemente, não possibilitam a mesma previsão de fenômenos relativos ao mundo submicroscópico da química, quando comparada aos M.P.E. justapostos às bola/bastão, por exemplo.

Já no caso do tipo letra/bastão, coexistem caracteres sîgnicos de origens diversas, o primeiro de caráter eminentemente simbólico necessita de um maior grau de abstração pelo intérprete, já o segundo, em relação ao caráter sin-signo icônico exige do intérprete a compreensão que o bastão traz semelhança em relação ao conceito de ligação química, porém, semelhança essa, como já visto, de caráter interno, estabelecido entre o conceito da união de um algo a outro algo, bem como nas convenções estabelecidas dentro do modelo de ligação de Lewis.

Estes diferentes olhares e análises dos processos semióticos presentes na comunicação dos conhecimentos químicos por meio de representações moleculares, só nos leva a reforçar a devida e necessária atenção que deve se dar para todos elementos que constituem o processo representacional, ou seja, desde a construção do tipo de representações que irão ser exploradas, passando pela forma com a qual o professor se apropria e utiliza tais apropriações em suas aulas, chegando e expandindo-se no e por meio do aprendizado do estudante. Tal constatação retoma o apontamento de Gois e Giordan (2008), por nós mostrado em capítulo anterior, acerca da importância dos docentes e discentes compreenderem e construir significados por meio de distintas formas de representações.

Após apresentarmos as análises individuais referentes ao modo que as representações moleculares – encontradas nos livros-texto – se constituem enquanto tais, por meio da primeira e segunda tricotomia peirceana, trazemos nos próximos subtópicos, a análise semiótica realizada das representações moleculares utilizadas a fim de comunicarem os conceitos de ácido e base segundo Brønsted-Lowry e Lewis, bem como os conceitos de forças ácidas e básicas.

4.4 ANÁLISE SEMIÓTICA DAS REPRESENTAÇÕES MOLECULARES UTILIZADAS PARA COMUNICAR OS CONCEITOS DE ÁCIDO E BASE SEGUNDO BRØNSTED-LOWRY, LEWIS E AS FORÇAS ÁCIDA E BÁSICA

Apresentaremos agora, as análises semióticas das representações utilizadas para comunicar os objetos de conhecimento referentes à introdução dos conceitos de ácidos e bases, segundo as teorias de Brønsted-Lowry e Lewis, e os conhecimentos relativos às forças ácidas e básicas das entidades químicas envolvidas.

As análises subdividem-se nos quatro respectivos tópicos das obras analisadas, e cada um traz três subtópicos relativos ao modo como as representações moleculares são utilizadas na comunicação da teoria ácido-base segundo o modelo de Brønsted-Lowry, segundo o modelo de Lewis, e o modo como as mesmas são utilizadas na comunicação dos conhecimentos relativos às forças ácidas e básicas.

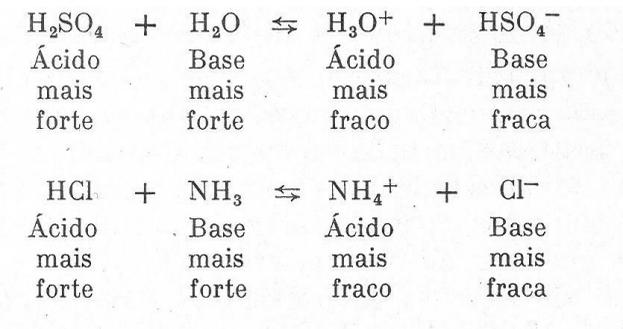
4.4.1 Livro Nº 1, “Química Orgânica”, dos autores Morrison e Boyd

Os conhecimentos introdutórios sobre ácidos e base foram abordados dentro de um subtópico, denominado de ácidos e bases, pertencente ao capítulo I da obra dos autores Morrison e Boyd (1978). Os conhecimentos selecionados para as análises foram identificados no tópico do livro-texto em questão e apresentados por nós, como já pontuado, em três partes: i) representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Brønsted-Lowry; ii) representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Lewis; iii) representações moleculares na comunicação dos conhecimentos relativos às forças ácidas e básicas.

I - Representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Brønsted-Lowry

Com o objetivo de representar os conceitos de ácido e base segundo a teoria de Brønsted-Lowry, bem como as forças dos ácidos e bases, os autores Morrison e Boyd (1978) utilizaram um conjunto de representações moleculares do tipo letra/letra, dispostas em reações químicas do tipo ácido-base, como podemos ver na figura 20:

Figura 20 Representação dos conceitos de ácido e base segundo a teoria de Brønsted-Lowry.



Fonte: Morrison e Boyd (1978)

Como vimos no subtópico anterior, as representações do tipo letra/letra são consideradas majoritariamente como simbólicas, haja visto que possibilita identificar apenas convencionalmente os elementos químicos presentes nas moléculas, de maneira que a relação entre signo e objeto não se dá em nível de representação de qualidades do objeto em questão. Semelhante ao caráter sógnico das letras, os signos que representam a carga positiva do próton e a carga negativa, gerada pela transferência do hidrogênio da espécie ácida para a básica, também são de caráter simbólicos. Representados por meio dos sinais de soma (+) e subtração (-), respectivamente.

Considerando uma característica representacional inerente ao modelo de Brønsted-Lowry, destaca-se ainda o fato de que a representação de uma única molécula não permite a discussão do caráter ácido-base, isso só se dá de maneira relacional, ou seja, há a necessidade de se representar duas moléculas a fim de que uma seja a doadora e a outra a receptora do próton. Destacamos ainda, que neste caso, como em muitos outros, como veremos nesta e nas próximas obras, as representações moleculares foram utilizadas dentro de um contexto de mecanismo reacional, a fim de comunicar sobre os modelos de ácidos e bases. Desta forma, não são apenas as representações moleculares que são utilizadas no processo de comunicação, mas também dos signos “extras”, que neste caso são as setas indicando os caminhos reacionais em equilíbrio, e o sinal de soma para simbolizar a reação entre o ácido e a base, e a formação de dois produtos diferentes, após reação. Os signos

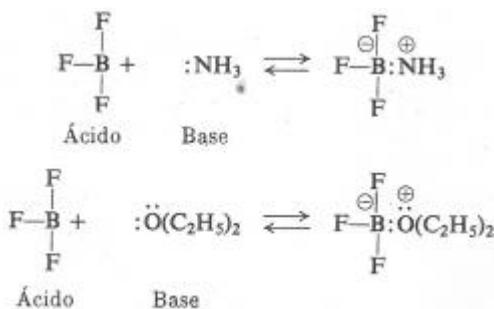
extras seriam neste caso, elementos extra representação molecular, que podem ser articulados em diferentes contextos comunicacionais, como no caso de tabelas, escalas, mecanismos reacionais, entre outros.

II - Representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Lewis

Seguindo a sequência da obra, a segunda teoria sobre ácido e base abordada é a de Lewis. Morrison e Boyd (1978) utilizaram o conjunto de representações presentes na figura 21 com o objetivo de comunicar os seguintes saberes: “base é toda substância que pode fornecer um par de elétrons para a formação de uma ligação covalente, e ácido toda substância que pode utilizar esse par de elétrons para formar uma ligação covalente” (p. 47). Destacam-se dois aspectos importantes sobre os objetos moleculares a serem representados nessas reações: os pares eletrônicos; e a disponibilidade de uma substância doar o par eletrônico e outra de receber.

Vejamos a seguir o conjunto das representações utilizadas na comunicação da teoria ácido-base segundo Lewis:

Figura 21 Representações de reações ácido-base utilizadas na comunicação ácido-base segundo Lewis.



Fonte: Morrison e Boyde (1978)

Em relação à disponibilidade eletrônica, a ênfase somente em quem recebe o par de elétrons pode diminuir o valor de quem doa. Nesse sentido, assim como na de Brønsted-Lowry, há a necessidade de termos em vista duas substâncias. A diferença aqui é que podemos avaliar um

ácido e uma base potencial isoladamente, algo que a conceituação de Brønsted-Lowry, não permite. Por exemplo, no caso da molécula de NH_3 , poderíamos dizer que ela é um potencial ácido de Brønsted-Lowry, visto que tem H na molécula - ora, se ácido é aquele que doa próton, é razoável esperar que aquele que tem H na molécula seja um ácido em potencial – porém sabemos que na maioria dos casos ela age como base, recebendo o próton. Agora, no modelo de Lewis, ao identificar o par de elétrons isolados do N, pode-considerar que ela seja uma base, e de fato é isso que acontece.

Os signos que permitem comunicar as disponibilidades envolvidas são referentes aos dois pontos (:) como sendo os pares de elétrons presentes na amônia, e o sinal de soma (+), representando a deficiência de elétrons e a disponibilidade da ligação do íon trifluoreto de boro. Estas representações também apresentam signos em forma de bastão (–) para se referirem às ligações químicas, e as letras para representar os elementos químicos, e numerais para se referir à quantidade dos mesmos.

Parênteses () são utilizados para representar a existência de dois ou mais fragmentos iguais da molécula na estrutura da mesma. Neste caso, os parênteses são compreendidos semelhantemente aos numerais, ao passo que são capazes de representar elementos químicos, ou grupo destes. Tais signos apresentam, assim, seu caráter sígnico do tipo legi-signo simbólico.

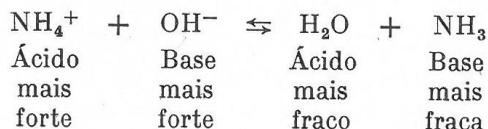
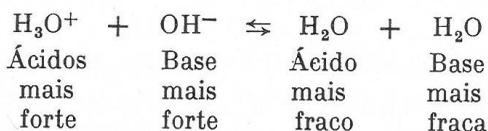
Comparadas às representações do tipo letra/letra, as do tipo letra/bastão apresentam um maior caráter icônico, ao passo que oferecem um início de compreensão do modo que os átomos estão dispostos na estrutura molecular. Nota-se que a utilização dos bastões possibilitou que fosse dado destaque para a disponibilidade do boro aceitar os pares de elétrons da base. Outro fator que eleva o grau de iconicidade é a utilização dos pares de elétrons, ao passo que trazem informações das entidades que constituem o átomo. Lembramos que o caráter sígnico dos bastões – quando inseridos em um contexto de representação molecular – ao se relacionarem com o objeto que intenta representar, os mesmos foram considerados constituídos majoritariamente por signos icônicos.

III) Representações moleculares na comunicação dos conhecimentos relativos às forças ácidas e básicas

- Efeito da capacidade de ionização nas forças ácidas e básicas

Após a definição de ácido e base segundo Brønsted-Lowry, os autores pontuam que a força de um ácido é dependente da sua tendência em ceder prótons, e utilizam a composição de representações moleculares semelhantes às da figura 22.

Figura 22 Reações ácido-base para representar o efeito da ionização.



Fonte: Morrison e Boyde (1978)

Ao considerarmos que só é possível identificar o ácido comparando reagentes e produtos, nota-se que as cargas representadas pelos signos de soma (+) e subtração (-) permitem a comparação relativa entre os mesmos - reagentes e produtos - no sentido de identificar quem é o ácido e quem é a base. Considerando que a representação dessas cargas não traz em si qualidades inerentes às propriedades eletrônicas dos átomos envolvidos, mas sim relações de convenções estabelecidas em associar o signo de soma (+) à baixa densidade eletrônica, ou os numerais em subscripto para indicar o número de um mesmo elemento química na estrutura molecular. Tais apontamentos evidenciam o caráter simbólico enquanto majoritário no conjunto representacional.

Como veremos, em muitos casos em que é importante comunicar informações sobre qualidades de determinado objeto molecular, e o tipo de representação não possibilita tais comunicações devido ao seu caráter sígnico, utiliza-se de signos complementares que sejam habilitados a

atuarem enquanto tal. Esse é o caso dos sinais matemáticos, que enquanto signos simbólicos complementares, são utilizados para indicar a carga elétrica de entidades químicas. Tais sinais podem, ainda, ser articulados enquanto signos extras, quando considerados entre substâncias em uma reação química.

O próximo conjunto representacional é apresentado na figura 23 a fim de comunicar sobre as diferenças de força de diferentes ácidos e bases. Note que neste caso as representações moleculares são articuladas dentro de um contexto de escala, ao passo que as mesmas são apresentadas dentro de uma sequência, em que sinais de maior e menor indicam o aumento ou a diminuição do sentido das forças. Já o caráter ácido ou básico é indicado por meio de palavras especificando qual escala é a ácida e qual é a básica.

Figura 23 Escalas sobre forças ácidas e básicas.

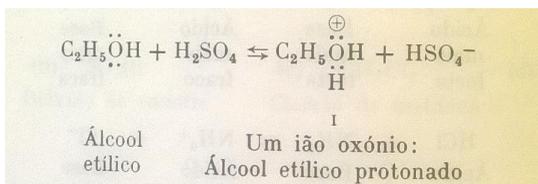
Força do ácido	$\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl} > \text{H}_3\text{O}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{H}_2\text{O}$
Força da base	$\text{HSO}_4^- < \text{Cl}^- < \text{H}_2\text{O} < \text{NH}_3 < \text{OH}^-$

Fonte: Morrison e Boyd (1978)

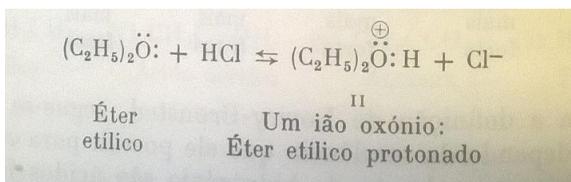
Como podemos visualizar na figura 23, devido ao caráter simbólico novamente presente nas representações, as mesmas não permitem comunicar sobre a força ácida e básica de cada molécula. Assim, há a necessidade por parte dos livros em utilizar signos extras às representações moleculares. Neste caso o sinal de maior e menor (>/<), enquanto signos também convencionados por uma comunidade para auxiliar na comunicação das escalas de forças em questão.

Morrison e Boyd (1978) trazem duas reações ácido-base (figura 24) a fim de comunicar que existem outros compostos orgânicos que podem aceitar prótons por conter oxigênio e, conseqüentemente, funcionam como bases.

Figura 24 Compostos orgânicos que podem aceitar prótons por conter oxigênio: (a) álcool etílico protonado; (b) éter etílico protonado.



(a)



(b)

Fonte: Morrison e Boyd (1978)

Os exemplos utilizados são o álcool etílico, na figura 24a e o éter etílico, na figura 24b. Na primeira, a doação de prótons pelo ácido sulfúrico ao álcool etílico é representada pela saída do numeral 2 subscrito do hidrogênio e pelo acréscimo do sinal de subtração (-) indicando o elétron oriundo da saída do H. Já o recebimento do próton, foi representado pela agregação do H, próximo a um dos pares de elétrons do O. Nota-se que a representação da carga formada por esse recebimento foi feita pelo sinal de soma (+) dentro de um círculo.

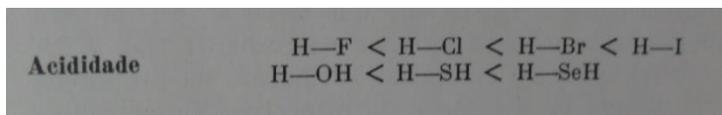
Semelhante representação ocorre com o éter etílico ao receber um próton. Porém, a doação do mesmo – próton – é representada pela ausência do hidrogênio ligado ao Cl, e o surgimento do sinal de subtração (-).

Neste exemplo podemos dimensionar o papel dos numerais, haja vista a importância dos mesmos em ser o signo que pode representar os movimentos dos átomos em uma reação química. Importância também é dada aos sinais matemáticos (+/-) destinados a representarem as cargas das entidades iônicas em questão.

- Efeito da estrutura nas forças ácidas e básicas

Fazendo menção direta à teoria de Brønsted-Lowry, e justificando essas características moleculares – acidez e basicidade – devido à estrutura da própria molécula, por meio das figuras 25, os autores relacionaram a dependência do grau de acidez com o tamanho e eletronegatividade do átomo que está ligado ao hidrogênio.

Figura 25 Acidez em função do átomo ligado ao H ácido.



Fonte: Morrison e Boyd (1978)

Uma vez que o tipo de representação letra/letra não possibilita a comunicação da diferença de tamanho e eletronegatividade, os autores organizam diferentes representações de moléculas com base na disposição na tabela periódica dos átomos ligados aos hidrogênios. Assim, a figura 25 é acompanhada da indicação de que, em determinada período da tabela periódica, a acidez aumenta com crescimento da eletronegatividade. Após o levantamento das representações moleculares presentes nas áreas de mancha de figura, utilizadas na comunicação das teorias de Brønsted-Lowry e Lewis, bem como as forças ácidas e básicas, constatamos que as representações moleculares, tanto do tipo letra/letra quanto letra/bastão, foram utilizadas ora no contexto de reações químicas, ora em escalas de forças ácidas e básicas. Essa constatação vai ao encontro da teoria semiótica em relação à complementaridade de signos a fim de comunicar determinado conhecimento. Encontramos, também, signos específicos utilizados em situações singulares, como o caso dos pares eletrônicos, que foram inseridos nos processos representacionais ao se comunicar informações relativas aos conhecimentos de ácido-base segundo Lewis. Isto ocorre pelo fato dos pares eletrônicos serem elementos chave para a compreensão da teoria de Lewis.

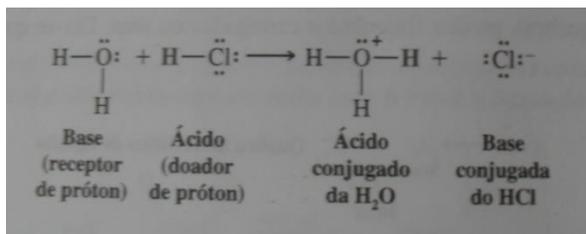
4.4.2 Livro N° 2, “Química Orgânica”, dos autores Solomons e Fryhle

Os conhecimentos introdutórios sobre ácidos e bases, foram abordados dentro do capítulo III, “Uma Introdução às reações Orgânicas: ácidos e bases”, trazendo os conhecimentos sobre os modelos de ácido e base segundo Brønsted-Lowry e Lewis, e as forças ácidas e básicas em tópicos individuais. Destaca-se nessa obra a utilização dos Mapas de Potencial Eletrostático (M.P.E.), tipo de representação que, como será visto, e dado seu forte caráter icônico, agrega inúmeras informações em relação às características fundamentais de moléculas, o que muito enriquece seu processo representativo.

I - Representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Brønsted-Lowry

Na obra de Solomons e Fryhle (2005), para introduzir os conceitos de ácidos e bases segundo a teoria de Brønsted-Lowry, os autores utilizaram representações do tipo letra/bastão. Após introduzirem uma definição para esses conceitos – segundo a qual “[...] um *ácido* é uma espécie que pode doar (ou perder) um próton e uma *base* é uma espécie que pode receber (ou remover) um próton” (*idem*, p. 92, grifo nosso) – exibem a representação a equação com base em diferentes representações moleculares (figura 26).

Figura 26 Representação dos conceitos de ácido e base segundo a teoria de Brønsted-Lowry.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Podemos notar que as representações utilizadas neste contexto apresentam maiores detalhes sobre o objeto molecular que se pretende representar, quando comparadas ao livro do Morrison e Boyd (1978): são inseridos os bastões entre os elementos químicos da estrutura do composto, a fim de representar as ligações químicas e, conseqüentemente, fornecer um arranjo espacial grosseiro – visto que a representação da molécula da água sugere um ângulo de ligação de 90° , quando não é. Utilizam-se também pares de pontos (:) para representar os pares eletrônicos não ligantes dos átomos, bem como os sinais matemáticos a fim de representar as cargas positivas e negativas (esses, também presentes na obra analisada anteriormente).

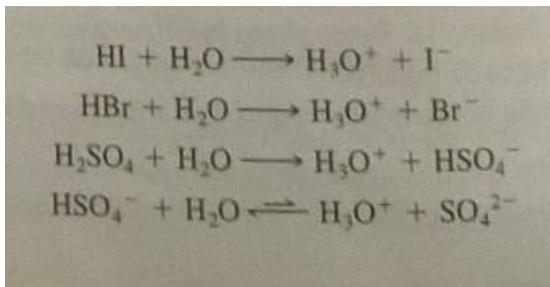
Outro indício desse maior detalhamento é o processo de doação e recebimento do próton, que é indicado pela mudança de local de um hidrogênio e o sinal positivo acompanhando o oxigênio. Dessa forma, são fornecidas informações além apenas das proporções de cada um desses átomos ligantes na molécula (como era característica das representações do livro anteriormente analisado, que utilizava numerais subscritos às letras correspondentes aos elementos), mas também quanto a quem o próton efetivamente irá se ligar.

Esse movimento foi retomado pelos autores após a figura 26, ao pontuarem que o cloreto de hidrogênio é um ácido forte pelo fato de que o mesmo “transfere seu próton para água” (SOLOMONS; FRYHLE, 2005).

Nota-se que a ligação entre o próton e o oxigênio na ligação ácido-base da figura 21 no livro de Morrison e Boyd (1978) é representada por dois pontos entre tais átomos. Já na ligação entre o próton e o oxigênio, formando o ácido conjugado da figura anterior (figura 26), os dois pontos são substituídos pelo bastão. Destaca-se que quando comparada à representação do tipo letra/letra, a letra/bastão possibilita que se visualize melhor o processo de doação e recebimento de prótons entre as entidades químicas presentes na reação, pois carrega em si mais informações acerca da organização espacial dos átomos na molécula e dos átomos que efetivamente participam da reação.

A fim de trazer mais exemplos sobre ácidos fortes, desta vez definindo que ácidos fortes transferem completamente um próton quando dissolvido em água, os autores utilizam as representações presentes na figura 27.

Figura 27 Representação da transferência de prótons em uma reação ácido-base.



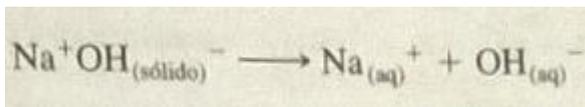
Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Como podemos visualizar, os tipos de representações utilizadas são semelhantes às utilizadas por Morrison e Boyd (1978) na figura 20, ao passo que são constituídas por letra/letra, e utilizam numerais, sinais matemáticos e setas. Neste caso os sinais matemáticos são utilizados tanto enquanto signos extras, ao comporem o conjunto de representações em um contexto reacional, quanto como signos complementares, ao passo que possibilitam comunicar informações sobre as cargas das entidades químicas presentes.

Nota-se que a não utilização dos bastões como representação da ligação entre o próton e determinado átomo faz com que novamente sejam utilizados os numerais para representar a saída do H – como no caso da reação entre ácido sulfúrico e a água.

Prosseguindo, Solomons e Fryhle (2005) apresentam a dissolução do hidróxido de sódio na representação mostrada a seguir:

Figura 28 Representação da dissolução do hidróxido de sódio.

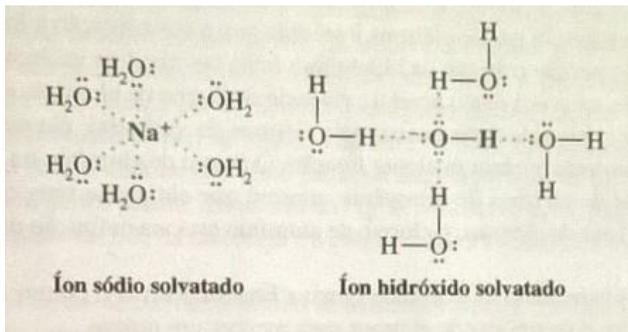


Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Nela são utilizadas representações do tipo letra/letra para a molécula do NaOH. Devido ao fato da utilização do sinal + acima e entre o Na e o OH, poderia ocorrer de compreender que os mesmos são íons, se não fosse a indicação subscrita revelar composto no estado

sólido. Indicação essa inadequada, ao passo que as representações se referem a íons. Ou seja, são antagônicos os dois tipos de linguagens utilizadas para comunicar um mesmo objeto. Após a seta, é representado o processo de solvatação dos produtos dessa reação, a fim de comunicar que o íon sódio se torna solvatado quando moléculas de água doam pares de elétrons não-compartilhados, e que o íon hidróxido quando essas moléculas formam ligações de hidrogênio com ele:

Figura 29 Representação do processo de solvatação de íons.

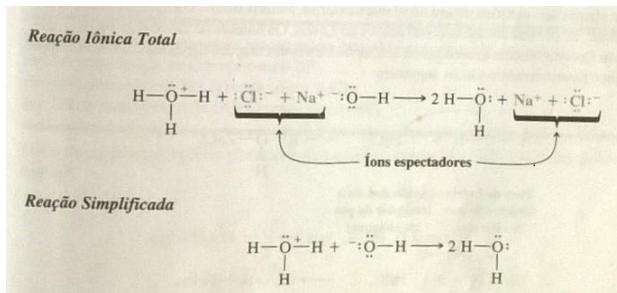


Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Na figura 29, nota-se que, no primeiro caso, as moléculas da água foram representadas pelo tipo letra/letra. Já no segundo caso, as representações são do tipo letra/bastão. Essa diferença pode vir ao encontro do tipo de ligação ocorrida em cada caso, onde recorreu-se aos bastões para destacar as ligações entre os hidrogênios, por exemplo. Novamente encontramos a presença majoritária de signos com caráter simbólico, devido à utilização de letras. Já os bastões e os dois pontos, são os signos responsáveis pelo caráter icônico.

Ainda tem-se as representações contidas na figura 30, representando a reação entre o hidróxido de sódio e o cloreto de hidrogênio gasoso. Estas representações foram utilizadas a fim de comunicar sobre a presença dos íons espectadores da reação. Os autores destacam estes íons, apontando para o fato de que os mesmos não participam da reação ácido-base.

Figura 30 Presença dos íons espectadores na reação



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Nota-se que as moléculas de HCl e NaOH, enquanto reagentes da reação, já são apresentadas ionizadas. e, além disso, omite-se reações ácido-base anteriores às indicadas na imagem – por exemplo, a reação entre HCl + H₂O vai produzir H₃O⁺ + Cl⁻, que são então mostradas. Ou seja, o hidrogênio do HCl é apresentado ligado à molécula de água, e o hidróxido, é apresentado separado do Na. Destaca-se, ainda, que os íons (Na⁺ e Cl⁻) são representados com uma cor mais clara que as demais representações. Tais recursos representacionais contribuíram na comunicação do que são íons espectadores, e como os mesmos não participam de uma reação ácido-base de Brønsted-Lowry.

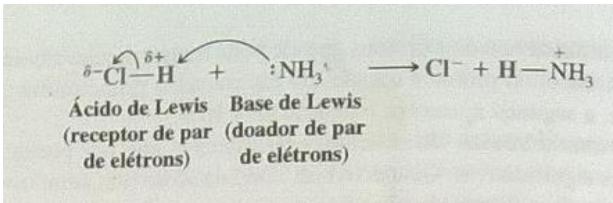
Notamos que o caráter sígnico das representações utilizadas para comunicar os conhecimentos desta teoria se constituem majoritariamente como símbolos, devido às letras, sinais matemáticos e numerais, como foi notado também no livro anterior (MORRISON e BOYD, 1978). Aqui, entretanto, o caráter icônico aparece por meio dos bastões e dos pontos representando os elétrons, avançando na representação das reações analisadas e dos compostos que delas fazem parte, trazendo informações de sua estrutura molecular, distribuição eletrônica, átomos ligantes, etc.

II Representações moleculares na comunicação do modelo ácido-base de Lewis

Em relação ao modo como os conhecimentos relacionados à teoria de Lewis sobre ácidos e bases são comunicados, os autores Solomons e Fryhle (2005, p. 93) afirmam: “ácidos são definidos como

receptores de par de elétrons e bases são definidas como doadoras de par de elétrons”; e iniciam utilizando-se tanto representações do tipo letra/letra, quanto representações do tipo letra/bastão (figura 31).

Figura 31 Reações químicas para representar as definições de ácido e base segundo Lewis.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Como podemos observar, existem signos nesta representação que não estavam presentes na anterior, por exemplo, a seta curva e a letra grega delta (δ) acompanhada de sinais matemáticos (- ou +). Estes signos são considerados complementares à estrutura molecular apresentada ao passo que não visam representar um elemento do mundo molecular, mas sim auxiliar na representação da ocorrência do fenômeno em questão.

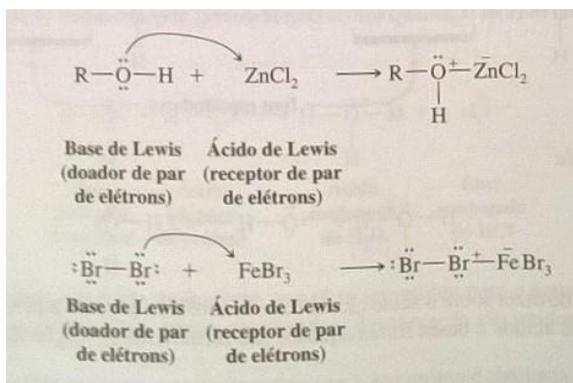
Na figura 31 é possível observar que a letra delta (acompanhada dos sinais matemáticos) foi utilizada para representar a carga formal em torno de cada elemento que constitui o HCl e, conseqüentemente, representar qual apresenta maior suscetibilidade para receber o par de elétrons. Nesse sentido, utiliza-se a letra delta para representar a densidade de cargas positivas quando acompanhada do signo (+), e para representar a densidade de cargas negativas quando acompanhadas do signo (-). Além disso, há representação por meio de sinais matemáticos das cargas formadas nos produtos da reação, em que o nitrogênio se apresenta com um sinal positivo após ter doado um elétron ao hidrogênio, e o cloro um sinal negativo, após ter recebido um elétron.

Percebe-se que, como os significados que esses signos complementares buscam expressar são frutos de convenções que lhes fornecem a capacidade de representar tais significados, esses signos são constituídos por símbolos, e a elevação do caráter icônico, quando comparado com as letras, ocupa um importante papel na constituição dos mesmos. Nesse contexto, a iconicidade não ocorre no nível de semelhança na aparência, pois as cargas não são letras gregas com sinais

matemáticos, nem o par de elétrons se desloca semelhante a uma seta. A iconicidade nesses casos é em nível operacional, ao passo que se permite manipular tais representações a fim de obter novas informações acerca de como se dá o processo da reação entre ácido e base de Lewis.

Note-se que essa representação (figura 31) esboça um mecanismo de maneira a buscar explicar através dos signos referentes às cargas eletrônicas o porquê do H da molécula de HCl receber o par de elétrons em detrimento do Cl da molécula. Destaca-se que aqui o conceito de eletronegatividade já deve ter sido introduzido pelo livro (nesse caso, o conceito foi abordado em diferentes tópicos, mas sua definição é introduzida pela primeira vez no capítulo 2, p. 47, logo, anterior ao capítulo em que aborda os modelos de ácido-base) para indicar as ligações polares, bem como quais átomos são deficientes em densidade eletrônica. O autor, ainda, a fim de comunicar a definição mais ampla de Lewis sobre ácido, quando comparada a de Brønsted-Lowry, utiliza as representações contidas na figura 32, na qual representa que diferentes moléculas podem ser consideradas ácido de Lewis, ao passo que apresentam um átomo que pode agir como receptor de par de elétrons.

Figura 32 Reações ácido-base segundo Lewis.



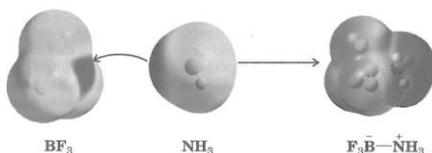
Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Ao compararmos as figuras 31 e 32, nota-se que a primeira apresenta maior nível de indexicalidade, ao passo que trazem além das setas, enquanto signos complementares, a letra grega delta (δ)

acompanhada de sinais matemáticos (- ou +) indicando as “localidades” das cargas.

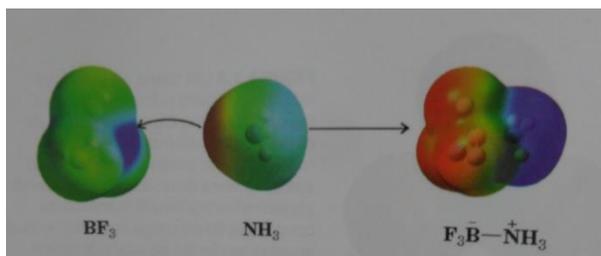
Visando dar ênfase à atração existente entre cargas opostas das bases e os ácidos de Lewis, Solomons e Fryhle (2005) iniciam um novo subtópico e, após realizarem uma breve apresentação acerca das principais características passíveis de serem interpretadas a partir dos Mapas de Potencial Eletrostático (M.P.E.) – destacamos aqui que esse tipo de representação não foi utilizado no livro anterior e é ilustrada pela primeira vez também no trecho da obra aqui analisada - apresentam as seguintes representações:

Figura 33 Representações do tipo Mapa de Potencial Eletrostático (M.P.E.) sem a utilização de cores



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Figura 34 Representações em cores da reação entre BF_3 e NH_3 .



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

As representações contidas nas figuras 33 e 34, denominadas de mapas de potencial eletrostático (M.P.E.), visam evidenciar e delimitar por meio de cores as regiões das moléculas mais susceptíveis a reagirem, em especial as regiões de mínima e máxima probabilidade de encontrar o elétron. De algum modo, as cores têm o mesmo sentido da carga parcial (delta), representar quais átomos possuem mais ou menos carga, só que fazem isso de um modo diferente: enquanto uma é

puramente matemática, a outra faz uso de uma série de qualidades – cores – ao longo do objeto para evidenciar isso. Ressalta-se, ainda, que elas ampliam o aspecto icônico da representação, dado que, diferente do signo delta que possibilitava a representação de apenas duas regiões de cargas – positiva ou negativa – as cores que, como visto, estão atreladas ao espectro eletromagnético, são capazes de representar uma infinidade de valores intermediários, compreendidos entre os limites dessa escala – as cores violeta e vermelho.

Lembramos que o caráter icônico destas representações é oriundo tanto do caráter sógnico da forma e das diferentes cores presentes nos M.P.E., as quais representam a distribuição das densidades eletrônicas da molécula e trazem uma semelhança de qualidade das diferentes regiões de densidade da mesma; quanto pelo caráter sógnico das representações do tipo bola/bastão, ao passo que se apresentam constituídos por ícones devido ao caráter de semelhança estabelecido entre o signo e as relações internas da teoria e conceitos que embasam os bastões e as esferas. Porém, quando comparamos as representações de M.P.E. com as representações anteriores, deve-se levar em conta que essa não se ampara mais em uma visão corpuscular da matéria, mas sim na visão quântica, particularmente na ideia de dualidade da matéria. Desse modo, todas as cores são, de algum modo, representações do elétron, mas baseadas na teoria de orbital molecular, em que os elétrons se espalham ao longo da molécula. Assim, não podemos dizer que o par de elétrons está na região vermelha – maior densidade de cargas – mas que há uma região de alta densidade eletrônica.

Conforme visto no início desse capítulo, por mais que os mapas de potencial tragam em sua constituição majoritariamente os símbolos, devido à convenção das cores (consequentemente do espectro eletromagnético) em relação às densidades eletrônicas e pelo fato de tais representações serem produtos de cálculos quânticos com os dados de uma molécula - expressando de maneira qualitativa o volume da molécula e, consequentemente, da densidade eletrônica da mesma - o caráter sógnico majoritário neste caso é o quali-signo na primeira tricotomia, e o icônico na segunda – tricotomia.

Por exemplo, ao considerarmos que a comunicação da existência de polaridade da molécula traz informações sobre características, qualidades da mesma, a própria diferença entre as cores consegue comunicar as diferenças de densidades eletrônicas da molécula. Lembramos que as regiões eletrônicas de uma molécula não são estáticas. No entanto, a probabilidade de encontrar elétrons será maior

em lugares próximos aos átomos eletronegativos, do que aos átomos eletropositivos.

Segundo Solomons e Fryhle (2005), devido à afirmação de que “é óbvio que a partir desta figura (e devemos ser capazes de prever isso), que o BF_3 tem uma carga substancialmente positiva centrada no átomo de boro e a carga negativa localizada nos três átomos de flúor” (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, p. 94), ao se referirem à estrutura calculada para o trifluoreto de boro ao mostrar o potencial eletrostático da superfície de van der Waals (figura 34), lembramos que mesmo os autores trazendo as convenções sobre as cargas relativas às cores azul e vermelha, assim não o fazem com as demais cores (e não associam à região visível do espectro) nem com todos os signos presentes nas mesmas. Uma vez que o sujeito não tenha compreensão sobre o processo, e sobre as convenções subjacentes ao seu entendimento (é preciso, por exemplo, compreender a convenção de utilização das cores como forma de representação das diferenças de densidades eletrônicas), os signos envolvidos deixam de ter a representação esperada para o sujeito, não sendo assim tão óbvias e transparentes as informações contidas nos mesmos.

Os autores detalham ainda mais a interpretação do fenômeno na representação ao relatarem que o par de elétrons não ligante da amônia atrai o átomo de boro do trifluoreto de boro. Além da utilização das cores para representar o local em que ocorrerá a reação, nota-se a presença de uma seta saindo da região vermelha e apontando para a região azul, a fim de representar a doação do par de elétrons não-ligante da amônia.

Ressaltamos que, ao utilizar esse mecanismo, pode-se introduzir uma fonte de possíveis interpretações contraditórias dos fundamentos teóricos que subsidiam suas exposições e, conseqüentemente, do modelo em questão – Lewis, fato que será retomado no percurso das análises no subtópico “*Justificando força ácida e básica por meio da estrutura molecular*”, desse capítulo. Destaca-se ainda que outras problemáticas se fazem presentes pois, a partir da representação proposta na figura 34, é possível interpretar que há um movimento da molécula NH_3 toda em direção ao BF_3 , dado que o próprio formato da superfície do M.P.E (e, portanto, com a molécula apresentando um limite determinado, finito) sugere um “encaixe” físico/mecânico entre ambas, que seria a ligação química. Nesse sentido, e limitando as possibilidades de interpretações, é destacado no corpo do texto que “[...] a seta curva não mostra o movimento de átomos. Supõe-se que os átomos seguem o fluxo de elétrons” (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, grifo do autor).

A relevância de tal perspectiva se dá principalmente porque, como visto anteriormente, as representações moleculares foram aqui tomadas como formas de se expressar objetos-modelo - esses últimos sendo entendidos como mediadores do processo de apreensão da realidade, em uma concepção bungeana – que, por sua vez, se fundamentam em uma determinada teoria científica. Ou seja, a polissemia interpretativa desencadeada pelas representações utilizadas pode implicar em vários e distintos entendimentos em relação ao objeto/fenômeno analisado, bem como dos pressupostos básicos do modelo científico e das teorias que o fundamentam. Nesse caso, dos princípios ligados às teorias ácido-base de Brønsted-Lowry e de Lewis, podendo introduzir uma fonte de dificuldades na assimilação das características que distinguem cada uma (“foco no próton” ou “foco no elétron”), ou das teorias mais amplas que as subsidiam, e que guardam diferentes leituras da estrutura constituinte da matéria (corpúscular, ondulatória, dualidade onda-partícula, etc.).

Acompanhando as representações da figura 34, encontra-se a presença de representações do tipo letra/letra. Isto ocorre uma vez que nem os M.P.E., nem as do tipo bola/bastões, são capazes de especificar os átomos que compõem cada molécula.

Diferentemente das discussões e indicações sobre o modo que os M.P.E. representam os objetos em questão, os autores não comentam sobre as representações bola/bastão, nem as do tipo letra/letra. Ao considerarmos que as representações bola/bastão e M.P.E. foram justapostas, uma a outra, a fim de oferecer diferentes informações sobre um mesmo objeto molecular, os signos que constituem a do tipo bola/bastão proporcionam ao intérprete a noção de espacialidade de determinada molécula.

Como constatado, foram diferentes as representações e, conseqüentemente, diferentes signos utilizados para comunicar os conhecimentos da teoria ácido base segundo Lewis. Como vimos, encontramos dentro da mesma teoria duas formas de representar os elétrons, uma segundo um modelo corpúscular de matéria, por meio do uso de dois pontos (:) para representar o par de elétrons, e o modelo quântico, por meio do mapa de potencial eletrostático.

Ainda vimos que a utilização de signos que representam os ácidos de Lewis por meio de signos mais icônicos contribui para a compreensão das cargas e suas localidades na molécula, e como estas interferem em uma reação ácido-base.

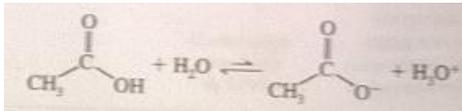
III) Representações moleculares na comunicação dos conhecimentos relativos às forças ácidas e básicas

III.1 - Introdução sobre forças ácidas e básicas

No primeiro tópico, denominado de “A força de ácidos e bases: K_a e pK_a ”, ao apresentarem os saberes relativos às forças ácidas e básicas, os autores não explicitam para qual (ou quais) modelo ácido-base suas considerações se dirigem.

Solomons e Fryhle (2005) iniciam pontuando que um ácido fraco não se ioniza completamente em solução aquosa. Os autores utilizam o exemplo do ácido acético em água, devido a esse ser um ácido fraco, isto é, uma substância na qual o equilíbrio está deslocado no sentido dos reagentes. Neste contexto, utilizam-se representações do tipo letra/letra e letra/bastão para representar a seguinte reação ácido-base (figura 35):

Figura 35 Reação ácido base.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Observamos que a representação da ionização incompleta do ácido acético, por meio de letra/letra e letra/bastão, não emerge das representações moleculares, mas sim a partir da representação da maior seta, presente entre os reagentes e os produtos, indicando que a reação é desfavorável no sentido da formação dos íons.

Ao considerar que a ionização incompleta é característica de um ácido fraco, os autores descrevem, exemplificando, a solução aquosa de ácido acético como uma expressão para a constante de equilíbrio (K_{eq}) (figura 36), reescrevendo-a em seguida, em termos da constante de acidez (K_a) (figura 37):

Figura 36 Expressão matemática para cálculo da constante de equilíbrio

$$K_{eq} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{CO}_2^-]}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}][\text{H}_2\text{O}]}$$

Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Figura 37 Expressão matemática para cálculo da constante de acidez do ácido acético.

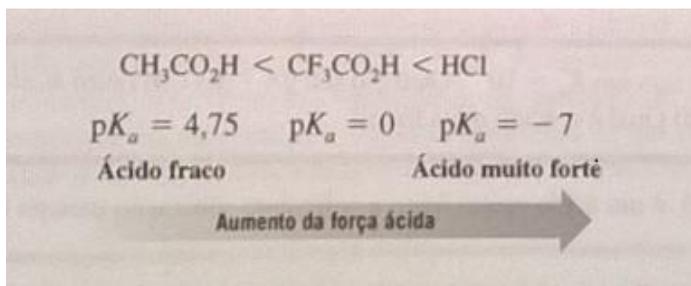
$$K_a = K_{aq} [H_2O] = \frac{[H_3O^+][CH_3CO_2^-]}{[CH_3CO_2H]}$$

Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Uma vez que o objetivo é obter o valor de K_a , as representações do tipo letra/letra foram utilizadas neste contexto apenas para identificar as substâncias nas expressões referentes à solução de ácido acético. Sobre o valor de K_a , Solomons e Fryhle (2005, p. 99) destacam, em negrito, que “um valor grande de K_a significa que o ácido é um ácido forte e um pequeno valor de K_a significa que o ácido é um ácido fraco”.

Ainda com o objetivo de comunicar sobre a força ácida do ácido acético, utilizou-se das representações presentes na figura 38.

Figura 38 Representações relativas às forças ácidas em relação ao pK_a de diferentes compostos.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Devido ao caráter majoritariamente simbólico das representações do tipo letra/letra, novamente características mais estruturais do ácido acético não foram contempladas, necessitando de signos auxiliares – utilizou-se dos sinais de maior e menor (>/<) – para exibir uma comparação relativa entre outros compostos. Assim, através dessas

diferentes moléculas, organizou-se uma escala de força ácida. A esta foi acrescentada uma seta visando apontar o crescimento do caráter ácido, juntamente com inscrições e valores pK_a . O sentido da seta é definido pelo conceito de que quanto menor o valor de pK_a mais forte é o ácido, neste caso, indo da esquerda para a direita.

Na mesma lógica em justificar as forças ácidas de diferentes moléculas pelos valores de pK_a , porém agora considerando as bases conjugadas, os autores dispuseram em uma tabela diferentes representações moleculares do tipo letra/letra e letra/bastão, organizadas segundo o grau de acidez de cada uma, acompanhadas de seus respectivos valores de pK_a e suas bases conjugadas (figura 39).

Figura 39 Tabela com a força relativa de ácidos e suas bases conjugadas.

TABELA 3.1 Força Relativa de Alguns Ácidos e suas Bases Conjugadas

	Ácido	pK_a Aproximado	Base Conjugada	
Ácido mais forte	HSF_6	< -12	SbF_6^-	Base mais fraca
	HI	-10	I^-	
	H_2SO_4	-9	HSO_4^-	
	HBr	-9	Br^-	
	HCl	-7	Cl^-	
	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$	-6.5	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3^-$	
	$(\text{CH}_3)_3\text{OH}$	-3.8	$(\text{CH}_3)_3\text{O}^-$	
	$(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{OH}$	-2.9	$(\text{CH}_3)_3\text{C}=\text{O}$	
	CH_3OH_2^+	-2.5	CH_3OH	
	H_3O^+	-1.74	H_2O	
	HNO_3	-1.4	NO_3^-	
	$\text{CF}_3\text{CO}_2\text{H}$	0.18	CF_3CO_2^-	
	HF	3.2	F^-	
	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$	4.75	CH_3CO_2^-	
	H_2CO_3	6.35	HCO_3^-	
	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COCH}_3$	9.0	$\text{CH}_3\text{COCHCOCH}_3$	
	NH_4^+	9.2	NH_3	
	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	9.9	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$	
	HCO_3^-	10.2	CO_3^{2-}	
	CH_3NH_3^+	10.6	CH_3NH_2	
	H_2O	15.7	OH^-	
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	16	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^-$	
	$(\text{CH}_3)_2\text{COH}$	18	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}^-$	
	CH_3COCH_3	19.2	CH_2COCH_3	
	$\text{HC}\equiv\text{CH}$	25	$\text{HC}\equiv\text{C}^-$	
	H_2	35	H^-	
	NH_3	38	NH_2^-	
	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	44	$\text{CH}_2=\text{CH}^-$	
Ácido mais fraco	CH_3CH_3	50	CH_3CH_2^-	Base mais forte

↑ Aumento da força ácida

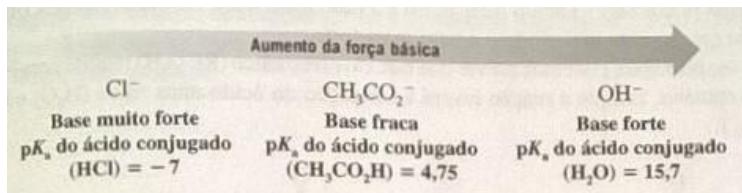
↓ Aumento da força básica

Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Note-se que novamente, além dos valores de pK_a , utilizou-se de seta para indicar o sentido das forças ácidas e básicas. Mais uma vez, o caráter majoritariamente simbólico das reações limita a representação das qualidades ácidas e básicas de cada molécula.

Em relação às forças das bases, na medida em que essas podem ser estimadas tendo em vista seu respectivo ácido conjugado, quanto mais fraca a base, mais forte será o ácido conjugado. Ao final do tópico, os autores apresentam na figura 40¹⁵ relações entre algumas bases e os valores de pK_a dos respectivos ácidos que deram origem a essas.

Figura 40 Escala de força básica.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Semelhante ao ocorrido na figura 39, a representação da força, neste caso a força básica, não parte dos signos contidos nas representações do tipo letra/letra utilizadas para representar as bases, nem das representações dos ácidos – também constituídos por letras – mas da relação de ambos mediada pelos valores de pK_a . Novamente a utilização de uma seta é utilizada para indicar a direção do aumento da força em questão.

As representações utilizadas até aqui, com o objetivo de introduzir os conceitos sobre força ácida e básica, mostraram-se constituídas majoritariamente por símbolos, e conseqüentemente apresentando um baixo caráter icônico, caráter esse que se refletiu na utilização de signos complementares na representação a fim de comunicar os conceitos em questão. Como visto, para comunicar sobre a força ácida fraca do ácido acético, partiu-se de uma representação composta por letra/bastão e letra/letra, em que a utilização de uma seta foi capaz de representar a ionização incompleta do ácido em questão.

Após isso utilizou-se relações matemáticas para quantificar tal força e obter o valor de pK_a do ácido acético. Esse valor, juntamente com os sinais de maior e menor, e a uma seta, em um conjunto com mais dois compostos moleculares, foram os signos que capacitaram a

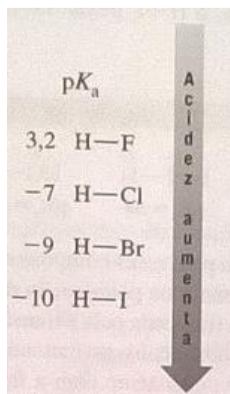
¹⁵ A figura 40, presente no livro dos autores Solomons apresenta um equivoco, ao indicar o Cl^- enquanto uma base muito forte, e não como uma base muito fraca.

comunicação do caráter ácido fraco em questão. As mesmas relações de complementaridade de signos externos às representações moleculares, e de comparação com outro composto, também foram encontradas na figura 39, e na figura 40, que trouxe a comunicação das forças básicas.

III. 2 - Justificando força ácida e básica por meio da estrutura molecular

Dando continuidade sobre os saberes relativos à força ácida, os autores, para justificar a influência da estrutura da molécula em sua acidez, pontuam que a força de um ácido está ligada ao “[...] grau em que um próton pode ser separado dele e transferido para uma base” (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, p. 103). Ao considerar que a força de ligação do próton diminui de cima para baixo nas colunas da tabela periódica, utilizou-se da figura 41 para representar as diferenças de acidez entre moléculas dentro de uma mesma família:

Figura 41 Escala de força ácida.



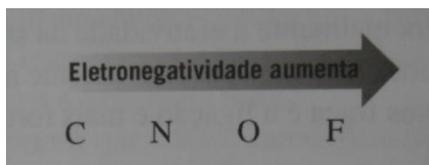
Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Podemos observar que as representações utilizadas para representar os diferentes haletos de hidrogênio são constituídas por letras/bastões. Nota-se que ao inserir os bastões, deu-se destaque aos átomos que pretendem ser comparados pela sua disposição na coluna da tabela periódica, e a seta bem ao lado, representou o que ocorre com a acidez ao seguir de cima para baixo na coluna. Os bastões ainda poder ter sido inseridos a fim de presentificar que a força de ligação com o

hidrogênio se altera dependendo o átomo ligado ao mesmo. Assim, o ácido fluorídrico é o ácido mais fraco, e o ácido iodídrico é o mais forte. Tal fato é oriundo da ligação entre o hidrogênio e o flúor ser mais forte que a do hidrogênio com o iodo, além do fato da maior capacidade de acomodar – ou em termos termodinâmicos, maior capacidade de estabilizar – o elétron extra deixado pelo hidrogênio. Ao associar o grau de acidez e a eletronegatividade dos átomos ligados ao H, os autores utilizam de um conjunto de representações, distribuídos nas figuras 42, 43 e 44.

Primeiramente, destaca-se a ordem dos átomos que estarão ligados ao hidrogênio, ao formarem os ácidos CH_4 , NH_3 , H_2O , HF , que foram trazidos como exemplo (figura 42).

Figura 42 Escala de eletronegatividade de alguns elementos químicos.

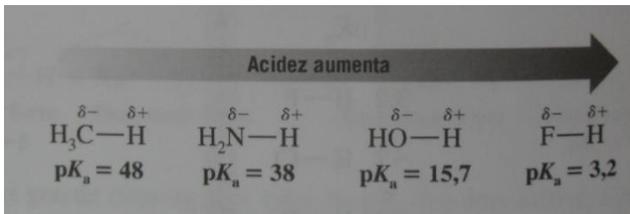


Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Uma vez que a eletronegatividade aumenta da esquerda para a direita nos períodos da tabela, e que quanto mais eletronegativo maior a força ácida, tem-se a seta indicando o aumento da acidez da esquerda para a direita. Por exemplo, sendo o flúor o elemento mais eletronegativo, a ligação do F com o H será a mais polarizada, conseqüentemente seu hidrogênio será o mais positivo. Devido a tais características, o HF perde um próton mais facilmente, sendo assim o composto mais ácido do período selecionado.

Assim, com base na escala de eletronegatividade apresentada na figura 42, organizou-se a escala de acidez dos compostos que trazem os átomos em questão ligados ao hidrogênio (figura 43).

Figura 43 Escala de força de acidez.

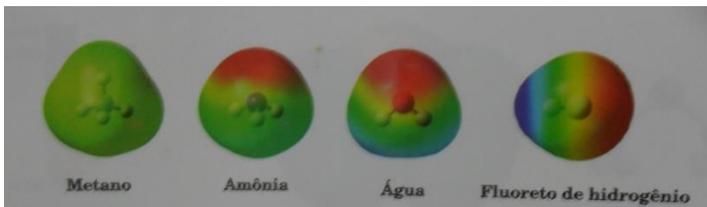


Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Como podemos observar, tanto pela indicação e inscrições relativas à seta, quanto pelos valores de $\text{p}K_a$, a acidez dos compostos aumenta da esquerda para a direita, refletindo o caráter eletronegativo do elemento ligado ao hidrogênio. Note mais uma vez que o caráter eletronegativo é representado pelas letras delta (δ), acompanhada do sinal positivo (+) para indicar o pólo positivo da molécula, e do sinal negativo (-) para o pólo negativo. Destaca-se que esses signos não contemplam a distribuição de cargas ao longo da molécula, restringindo-se à representação das cargas formais entre os hidrogênios e os diferentes átomos. Nota-se que não são utilizados os bastões para representar todas as ligações presentes nos átomos, restringindo apenas a representação da ligação dos elementos químicos e os prótons. O que está diretamente atrelado aos objetivos do que se deseja ressaltar no fenômeno em questão, ou seja, o fato de existir um próton na molécula que pode ser doado para uma base.

Após a figura 43, os autores representam os compostos moleculares em questão – CH_4 , NH_3 , H_2O e o HF – por meio dos M.P.E. justapostos às bolas/bastões (figura 44).

Figura 44 Mapas de potencial eletrostático para representar a distribuição das cargas eletrônicas ao redor das moléculas



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Novamente os autores relacionam o uso dos M.P.E. com uma possível simplicidade ou obviedade de interpretação de suas representações. Nesse sentido, Solomons e Fryhle (2005) pontuam que ao se discutir a influência da eletronegatividade na acidez dos compostos em questão, os M.P.E. “[...] ilustram diretamente essa tendência baseada na eletronegatividade e no aumento da polarização das ligações com o hidrogênio” (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, p.105). Tal afirmação é justificada ao relacionar as diferenças de densidade eletrônica com cores específicas. Quando os autores pontuam que os M.P.E. ilustram a influência da eletronegatividade na acidez dos compostos, eles se referem às diferentes composições de cores que constituem tais representações.

Concordamos, é claro, que ao passo que tais representações são constituídas de diferentes tipos de signos, possibilitam a comunicação mais holística das densidades de cargas em uma molécula, porém, pontuar ao leitor a obviedade de qualquer representação, sem uma discussão pormenorizada da mesma, é abrir possibilidade para equívocos na construção dos conhecimentos químicos envolvidos. Lembramos, porém, que é possível que os autores dos livros texto em questão, não discutam as representações do tipo M.P.E. por considerá-las a “comprovação” do que foi dito anteriormente em palavras e por acreditar na transparência da linguagem visual.

Ao visualizarmos as representações moleculares da figura 44, constatamos que o aumento da presença de diferentes cores na composição das mesmas ocorre da esquerda para a direita. Assim, o M.P.E. do metano se apresenta quase majoritariamente pela cor verde, apresentando uma pequena região tonalizada de amarelo. Já o da amônia, a região da cor amarela aumenta, surge a cor vermelha, e a verde diminui. O M.P.E. da água, por sua vez, além das cores verde, amarela e vermelha, a cor azul claro surge, mesmo incipiente, na parte inferior do mesmo. Por fim, o mapa referente ao fluoreto de hidrogênio apresenta todas as cores até aqui relatadas, além da azul escura que surge em sua extremidade esquerda.

Uma vez que cada cor representa as diferentes densidades eletrônicas distribuídas ao longo da molécula, a identificação sucessiva de diferentes cores ao longo das moléculas apresentadas no M.P.E. é proporcional à existência de regiões com diferentes concentrações de cargas eletrônicas. Lembramos que a formação dessas regiões implicam na formação de pólos e, conseqüentemente, em maior polaridade da molécula em questão. Por exemplo, no caso do metano, o fato do

mesmo apresentar em quase sua totalidade apenas a cor verde, demonstra a distribuição quase uniforme da densidade eletrônica na molécula, além de uma pequena região amarela, referente à eletronegatividade do carbono. Já no fluoreto de hidrogênio o flúor apresenta diferentes regiões de distribuição de carga bem demarcadas, refletindo a elevada polaridade da molécula. Entre as polaridades extremas do CH_4 – menor polaridade – e do HF – maior polaridade – encontram-se a NH_3 , seguido da H_2O .

Mesmo não tendo levado em consideração, nesse momento das análises, as representações do tipo bola/bastão ao apresentar os M.P.E., compreendemos que essas são importantes na compreensão da disposição e da eletronegatividade dos elementos químicos que constituem as moléculas em questão, bem como para identificar e associar as regiões do M.P.E. com a disposição dos átomos na molécula. Por exemplo, no caso da molécula de água, após compreendermos que ela é composta por regiões de diferentes densidades de cargas eletrônicas, por meio das cores que compõe seu respectivo M.P.E., a representação do tipo bola/bastão possibilita que estas diferentes regiões sejam relacionadas visualmente com os átomos que as originam: a esfera maior que representa o átomo de oxigênio se encontra na região vermelha – maior densidade eletrônica – já as duas esferas menores, estão envoltas pelas cores que representam regiões de menores densidades.

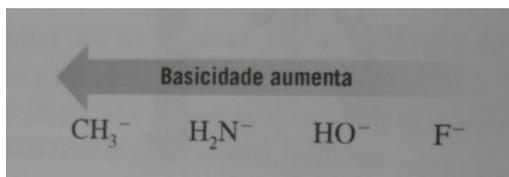
Ao compararmos a presença de signos extras que agregam informações na estrutura molecular das representações do tipo letra/bastão e letra/letra, nos M.P.E as representações do tipo bola/bastão cumpririam função semelhante a esses signos. Isto se deve ao fato de que apenas a representação da distribuição de cargas de uma molécula não a caracteriza especificamente, distinguindo-a, a menos que existam outros signos que relacionem átomos específicos a determinadas áreas de densidade. Lembramos que a justaposição destes dois tipos de representações, mesmo apresentando caráter icônico majoritário, têm seus fundamentos teóricos contrastantes: ao passo que o tipo bola/bastão se refere ao modelo corpuscular da constituição da matéria, e os M.P.E., apresentam bases, dentre outros, nos conceitos de dualidade onda-partícula e densidade de probabilidade.

Constata-se, ainda, que a presença das letras/bastões justapostos aos mapas da figura 44 não é capaz de especificar os elementos, apenas diferenciar a existência de diferentes elementos na molécula. Como no caso da molécula de água, em que há associações feitas entre esferas e

moléculas – onde a esfera maior representa o átomo de oxigênio, e as duas esferas menores referenciam-se aos de hidrogênio - não é direta, tanto que abaixo do conjunto representacional é indicado o nome da substância a que se refere.

Seguidamente à figura 44, são apresentadas considerações sobre as forças das bases conjugadas oriundas do CH_4 , NH_3 , H_2O e do HF . A justificativa dos diferentes valores de basicidade é feita por meio da força ácida de cada composto, ao passo que se considera que quanto mais forte o ácido, mais fraca será a base. Assim, para comunicar a força das bases, os autores utilizaram novamente de representações das entidades química, desprotonadas, e organizadas em um esquema que indica a direção do aumento da basicidade por uma seta (figura 45).

Figura 45 Escala da força básica



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Por fim, os autores apresentam um diagrama (figura 46) composto de diferentes representações moleculares do tipo letra/bastão, que na mesma lógica das representações contidas nas figuras 42 e 43, surgem organizadas segundo seus períodos e famílias na tabela periódica, a fim de demonstrar o aumento da acidez em relação ao período da tabela – da esquerda para a direita – e pelo aumento relacionado ao grupo – de cima para baixo. Como podemos visualizar, as indicações do aumento da acidez são feitas por meio de setas:

Figura 46 Relação da força ácida e a disposição dos elementos na tabela periódica.

	C	N	O	F
hidreto pK_a	(H_3C-H) 48	(H_2N-H) 38	($HO-H$) 15,7	($F-H$) 3,2
			S ($HS-H$) 7,0	Cl ($Cl-H$) -7
			Se ($HSe-H$) 3,9	Br ($Br-H$) -9
				I ($I-H$) -10

Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Ao final, pode-se constatar a presença majoritária de símbolos para representar a influência do tamanho dos átomos, enquanto uma qualidade capaz de influenciar no caráter ácido de uma molécula quando este átomo se encontra ligado ao próton. Conforme vimos, a baixa iconicidade presente nas representações impeliu a utilização de signos auxiliares, e associações com outros saberes químicos, como ao referenciar à tabela periódica para subsidiar uma abordagem acerca dos tamanhos dos átomos.

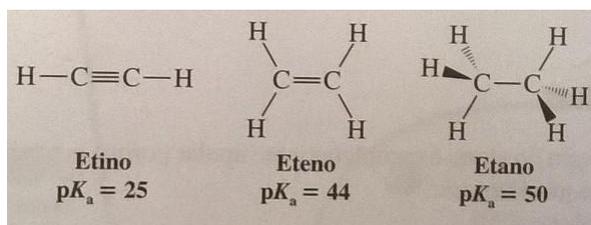
Também presente se identificou a utilização dos M.P.E. justapostos ao bola/bastão, enquanto representações compostas majoritariamente por ícones. Vimos que tal caráter sógnico permite que no próprio conjunto representacional de determinada molécula, seja comunicado o tamanho dos átomos, e as cargas geradas pelos mesmos. Por exemplo, a representação da molécula de HF, por meio destes signos icônicos, apresentam a presença de diferentes densidades de cargas, e a formação de cargas de extrema oposição, originando a grande polaridade da mesma. Como vimos, esse conjunto de informações nos levou a compreender, por exemplo, o HF enquanto uma molécula de caráter ácido significativo em relação as demais moléculas analisadas. Temos ainda que, ao comparar essa representação a de outra molécula,

no mesmo estilo representacional, criamos uma referência de forças ácidas e básicas entre as mesmas.

- Justificando força ácida e básica por meio da hibridização

A respeito do efeito da hibridização na acidez, tem-se a utilização de diferentes tipos de representações a fim de explicar a ordem de acidez de diferentes compostos:

Figura 47 Efeito da hibridização sobre a acidez dos compostos.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

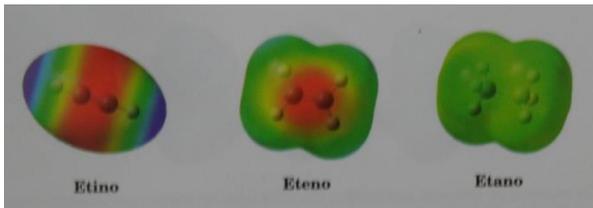
Nota-se que as representações utilizadas são do tipo letra/bastão – constituídas de símbolos e signos icônicos – porém a explicação textual dos efeitos da hibridização é realizada no nível dos orbitais atômicos. Ou seja, usa-se uma representação corpuscular-clássica, mas explica-se ela pela mecânica quântica. Nesse sentido, tem sido crescente as discussões em torno do emprego de multi-modelos na química e da constância (e relevância em considerá-las) do transito dos químicos entre modelos clássicos e quânticos a todo o momento no decorrer de suas práticas. Elucidando a discussão teórica que acompanha as representações feitas por Solomons e Fryhle (2005), a qual exemplifica o trânsito entre uma representação baseada em uma teórica clássica e a explicação da representação por meio da teoria quântica, trazemos um trecho do texto em que os autores destacam em **negrito** que “ter mais caráter s significa que os elétrons do ânion serão, em média, mais baixos em energia e o ânion será mais estável” (p. 105).

Observamos também, a presença de dois novos signos que permitem tal representação da espacialidade das representações do tipo letra/bastão. O primeiro signo é a cunha preenchida (■), empregada para representar que o átomo da extremidade da cunha se projeta acima do plano do papel, ou seja, em direção ao olhar do observador; e a

segunda, a cunha tracejada (■), que representa o átomo se direcionando para baixo do plano do papel. Visto a finalidade de tais representações, a saber, representar as ligações químicas, semelhante aos bastões, considera-se os mesmo como de signos icônicos.

Os autores utilizam-se também dos M.P.E. a fim de representar o efeito da hibridização na acidez (figura 48).

Figura 48 Efeito da hibridização representada por mapas de potencial eletrostático.



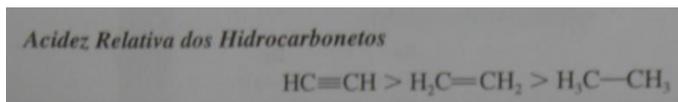
Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Como podemos observar, o efeito da hibridização pode ser identificado tanto na cor azul presente na molécula de etino, quanto pela ausência das cargas positivas nos hidrogênios do eteno e do etano. As sucessivas hibridizações levam à concentração de densidade eletrônica entre os carbonos, de modo que uma ligação tripla tem mais densidade eletrônica entre os átomos do que uma ligação dupla, que, por sua vez, tem mais que uma ligação simples. Além disso, o efeito da hibridização implica em toda a molécula, pois a natureza da ligação se modificou. Outro aspecto a ser mencionado, se refere ao fato que esse “efeito” sugere uma relação do tipo “causa-efeito”, como se fosse algo que estivesse lá na realidade. Mas, a hibridização é um modelo explicativo para as diferentes ligações do carbono, ou seja, é de natureza teórica.

Ao compararmos as representações da figura 47, de caráter majoritariamente simbólico, com os M.P.E. justapostos as representações do tipo bola/bastão de caráter majoritariamente icônico, podemos dizer que o segundo tipo de representação oferece um conjunto maior de diferentes signos, possibilitando a compreensão mais ampla das implicações das ligações na densidade eletrônica da molécula, ao ilustrar a forma de sua superfície potencial, bem como as variações no espaço dessa densidade.

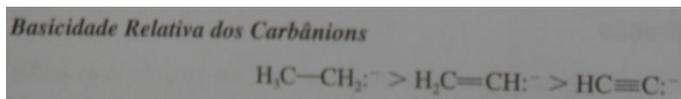
Ainda, a fim de representar as escalas de força ácida e básica entre as moléculas em questão – C_2H_2 , C_2H_4 e C_2H_6 – os autores utilizaram das escalas em que as diferentes forças são representadas pelos hidrocarbonetos (figura 49) ou pelos carbânions (figura 50) em ordem decrescentes, por meio dos sinais de maior e menor (>/<). Destaca-se o fato de que os bastões foram utilizados apenas para representar as ligações entre os carbonos.

Figura 49 Escala de acidez relativa dos hidrocarbonetos.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Figura 50 Escala da basicidade relativa dos carbânions.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

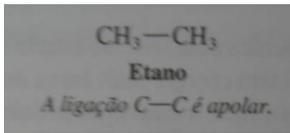
Como vimos, sendo que o caráter simbólico se faz presente nas letras representando os átomos, a complementaridade de signos de caráter icônicos, oriundos de signos extra, que forneceram a dimensão da influência da hibridização na força ácida e básica dos diferentes compostos moleculares.

- Justificando força ácida e básica por meio dos efeitos indutivos

Por fim, os autores trouxeram os efeitos indutivos para explicar as forças ácidas e básicas de diferentes compostos. Para isso, Solomons e Fryhle (2005) utilizam três conjuntos de representações (figuras 51, 52 e 53) compostas por diversos signos.

A primeira (figura 51) utiliza-se de letras, bastões, e numerais para formar as representações moleculares e comunicar que “a ligação carbono-carbono do etano é completamente apolar, devido ao fato de que em cada ponta da ligação existem dois pontos equivalentes”.

Figura 51 Representações utilizadas para comunicar sobre os efeitos indutivos nos ácidos e base.



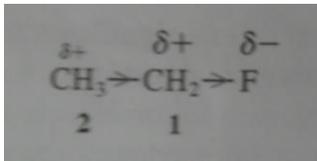
Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Como observado, a comunicação sobre a polaridade não é feita por meio da estrutura da representação da molécula de etano, mas pela indicação escrita pontuando que a ligação entre os carbonos é apolar. Note que é utilizada a representação C-C para se referir a ligação de carbono no meio da escrita.

Novamente, o fato dos autores recorrerem a indicações escritas sobre os conhecimentos que se pretende comunicar, é oriundo do caráter sígnico das representações selecionadas. No caso da molécula do etano (figura 51), as letras, numerais e bastão, enquanto signos que a compõe, não tiveram a capacidade de trazer elementos que se referissem à polaridade da molécula.

Avançando no grau de idexicalidade, os autores trouxeram a representação do fluoretano (figura 52).

Figura 52 Representação dos efeitos indutivos na molécula.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Mesmo sendo a representação do $\text{C}_2\text{H}_5\text{F}$ de caráter sígnico majoritariamente simbólico, devido ao fato de ser composta por letras, números, sinais matemáticos, e conseqüentemente trazem uma baixa relação com as qualidades do objeto. A utilização da letra delta (δ), acompanhada do sinal positivo (+) para indicar o pólo positivo da molécula, e do sinal negativo (-) para o pólo negativo, possibilitou trazer o caráter polar da molécula em questão, ou seja, agregou qualidades sobre o objeto.

Nota-se que o delta do C2 (carbono 2) acompanhado do sinal positivo é menor que os do C1. Isso visa representar que os efeitos indutivos enfraquecem conforme a distância do substituinte aumenta. Como podemos observar, o delta com sinal negativo (δ^-) representa o caráter eletronegativo do flúor. O efeito indutivo é representado mais pontualmente por meio das setas presentes entre as ligações químicas, as quais pretendem representar a atração do átomo mais eletronegativo sobre os elétrons de seus ligantes.

Ao comparar com a representação do C_2H_6 (figura 51), podemos dizer que a do C_2H_5F apresenta maior grau de iconicidade, tanto que o efeito indutivo é articulado por um conjunto de signos que se apresentam tanto na estrutura representacional, quanto externa a elas. Nota-se que na segunda representação os autores não utilizaram de indicações escritas sobre a polaridade da molécula.

Já a terceira (figura 53) representação diz respeito à molécula do fluoreto de etila por meio de uma adaptação dos M.P.E. justapostos a bola/bastões, vistos até agora.

Figura 53 Momento de dipolo do fluoreto de etila.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005)

Diferente dos outros mapas presentes na área analisada, o do fluoreto de etila (figura 53) não apresenta uma cópia no encarte colorido. E mesmo sem indicar o modo que devemos compreender a representação em questão, Solomons e Fryhle (2005, p. 106) pontuam que ao passo que a figura 53 mostra o momento de dipólo para o fluoreto de etila (fluoroetano), “A distribuição da carga negativa ao redor do flúor eletronegativo é claramente evidente no mapa de potencial eletrostático”. Novamente os autores compreendem que as representações podem falar por si, especialmente as representações do tipo M.P.E.

Notamos que a utilização dos tons de cinza e a cor branca para representar a distribuição de cargas da molécula dificultam o entendimento sobre as mesmas. Do mesmo modo que existe uma região mais escura na parte superior direita, a mesma existe na inferior esquerda. Ainda, o modo que a representação do tipo bola/bastão está disposta dificulta a comparação dos tamanhos das bolas, principalmente em relação as mais claras, referentes ao hidrogênio e o flúor. Nota-se, ainda, a presença de uma seta a fim de apontar a direção do efeito indutivo da molécula.

O problema já relatado em relação à justaposição de um modelo ondulatório de matéria – os M.P.E. – com um modelo corpuscular sobre a mesma, sem o detalhamento de como interpretar os signos que as compõe pode gerar equívocos representacionais. Observe-se que o corte transversal realizado no mapa, ao expor o modelo bola/bastão, pode permitir que se compreenda as esferas enquanto átomo, ligados por bastões, e o mapa como sendo algo que fica externo aos átomos, algo que envolve os átomos ligados. Ou ainda, cometer o erro conceitual e representacional, no qual podemos interpretar as esferas enquanto núcleos ligados uns aos outros, e os mapas seriam a nuvem eletrônica.

Expomos essas possibilidades de interpretação para evidenciar que não existe uma obviedade nas representações, e quando não indicadas, o modo de compreender as mesmas, em muitos casos, até para os mais familiarizados com tal linguagem, pode ficar sem direcionamento no que olhar e como interpretar o que se olha.

Mesmo os mapas de potencial apresentam signos de caracteres mais icônicos que as duas representações anteriores (figuras 51 e 52). Os mesmos tiveram que trazer a seta, enquanto um signo extra, por sinal, um signo de caráter indexical, para representar o efeito de indução causado pelo flúor. Podemos evidenciar que, novamente, foi utilizado um conjunto de signos a fim de representar um dos fatores que interferem na acidez de um composto, dependendo do tipo de átomo existente na molécula

4.4.3 Livro N°3, “Química Orgânica”, da autora Paula Bruice

Nesta obra, os conhecimentos sobre ácido e base estão situados na primeira parte, denominada “Introdução ao estudo de substâncias orgânicas”, em seu capítulo “Estrutura eletrônica e ligação Ácidos e bases”. Os tópicos acerca do modelo de Brønsted-Lowry e das forças ácido e base foram apresentados conjuntamente, entretanto, o modelo de

Lewis é tratado posteriormente, no tópico que fecha o primeiro capítulo. A seguir são mostradas as análises de tais tópicos.

I) Representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Brønsted-Lowry.

Do mesmo modo que as obras anteriores, ao introduzir os conceitos sobre ácido e base segundo Brønsted-Lowry, Bruice (2006) utiliza-se de uma reação ácido-base a fim de comunicar os conhecimentos envolvidos em tal teoria (figura 54):

Figura 54 Representação de uma reação do tipo ácido/base.



Fonte: Bruice (2006)

Como observado, as representações das entidades ácidas e básicas apresentadas na figura 54 são compostas majoritariamente por letras, sendo caracterizadas assim, pelo seu alto nível de simbolismo. Nota-se que semelhante às representações trazidas na obra de Solomons e Fryhle (2005), a autora trouxe as ilustrações dos dois pontos (:) representando os pares eletrônicos, e fazendo parte da parcela reduzida do caráter icônico atribuído à mesma.

Destacamos que estes pares eletrônicos são a inclusão de um elemento presente no modelo de Lewis, e apenas a primeira obra (MORRISON; BOYD, 1978) fez uso de uma representação sem pares eletrônicos, ou seja, somente ela utilizou uma representação que se apresenta como a mais simbólica possível no contexto do modelo de Brønsted-Lowry. Em relação à definição desse modelo, esses pares eletrônicos não acrescentam nada. A única entidade em transferência nesta definição é o próton. O que parece é que além dos químicos transitarem entre diferentes modelos, muitas vezes eles fusionam representações referentes a diferentes modelos. Assim, os signos mais icônicos presentes nas representações utilizadas na comunicação da teoria ácido-base de Brønsted-Lowry não se referem a um dos principais objetos que definem a teoria em questão. Por exemplo, os autores

Solomons e Fryhle (2005) fazem uso de bastões, que também são signos de caráter icônico, na representação da molécula de ácido clorídrico, enquanto um composto capaz de doar um próton, segundo Brønsted-Lowry (figura 54). O que possibilitou visualizar que o H rompe ligação com o Cl, e se liga à molécula de água formando o H_3O^+ . A utilização de sinais matemáticos (+ e -) enquanto cargas eletrônicas também contribui para a representação da doação e recebimento de um próton, ao passo que simbolizam as cargas que surgem por tal ação.

Esse último recurso – sinais matemáticos - também foi utilizado por Bruice (2006), que lançou mão ainda da estratégia de destacar a letra H com um retângulo azul claro justaposto ao mesmo – H – do ácido que irá doar tal próton, e do hidrogênio do H_3O^+ formado da ligação do próton com a água. Este recurso azul tem forte caráter indexical, pois assemelha-se a seta, devido ao intuito de demonstrar a “rota” traçada pelo H. Perceba-se que os numerais também simbolizam o recebimento do próton pela base. Ainda, note-se que as indicações sobre as entidades ácidas e básicas são realizadas pelas inscrições identificando cada uma enquanto ácido ou base. A autora também traz as setas com tamanhos diferentes e apontando para dois sentidos distintos. Como vimos, elas são utilizadas para simbolizar o deslocamento de formação das entidades químicas presentes nas representações.

Como outro exemplo de reação ácido-base, a autora traz a reação da amônia com a água na figura 55.

Figura 55 Representação do tipo letra/letra de uma reação do tipo ácido/base.



Fonte: Bruice (2006)

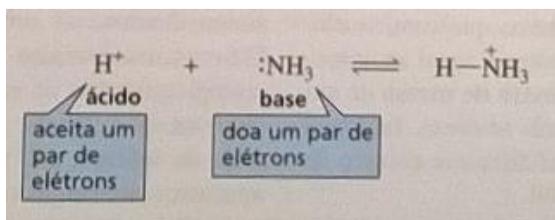
Nela, identificamos os mesmos elementos sígnicos das representações anteriores (figura 54) nas representações da figura 55. Porém, aqui a autora chama a atenção para a relatividade do caráter ácido/básico de uma molécula, ilustrando a água como um ácido, diferente da figura anterior em que ela aparecia como a base da reação. Nesse sentido, a autora afirma que “[...] a água pode se comportar como um ácido ou como uma base. Ela pode se comportar como um ácido porque ela tem um próton que pode ser doado, mas também pode se

comportar como uma base porque tem um par de elétrons livres que pode aceitar um próton” (BRUICE, 2006, p. 39).

II) Representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Lewis

Bruice (2006, p. 53), ao comunicar que Lewis definiu um ácido “como uma espécie que aceita um par de elétrons e uma base como uma espécie que doa um par de elétrons”, utilizou-se das representações contidas na figura 56:

Figura 56 Reação ácido-base segundo modelo de Lewis.



Fonte: Bruice (2006)

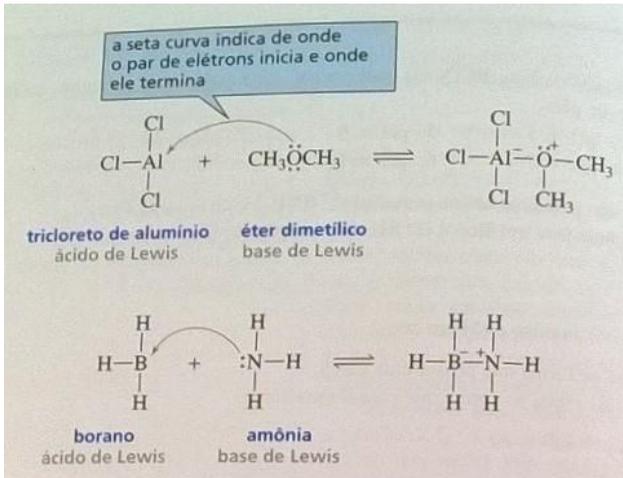
As representações utilizadas são de caráter majoritariamente simbólico, haja vista a presença massiva de letras na constituição das mesmas e a baixa informação sobre as qualidades das entidades químicas envolvidas. A utilização do signo icônico, em forma de bastão, está presente apenas no produto da reação, a fim de representar o próton (H^+) após o recebimento do par de elétrons. Note-se que a autora utilizou-se da representação de um ácido genérico ao utilizar o hidrogênio em forma de prótons, referindo-se ao mesmo como um receptor de par de elétrons, e não como doador de prótons – de acordo com a definição de Lewis.

Os reagentes ainda foram caracterizados através de representações escritas, se são ácido ou base, acompanhados da definição de aceitação ou doação de elétrons. Diferentemente das outras representações apresentadas até aqui, neste livro a autora acrescenta elementos de explicação à representação na própria representação, ou de maneira mais precisa, associada à essa.

As próximas representações utilizadas dizem respeito às duas reações ácido base específicas apresentadas na figura 57, e foram

expostas pela autora a fim de representar que a definição de ácido de Lewis não se limita às substâncias que doam prótons.

Figura 57 Reação ácido-base segundo modelo de Lewis.



Fonte: Bruice (2006)

Como constatado, as representações presentes na figura 57 são constituídas tanto de letra/letra, quanto de letra/bastão. Quando comparadas às representações utilizadas por Solomons e Fryhle (2005), que também utilizou-se do BH_3 como exemplo, compreendemos as trazidas pela autora desta obra como menos icônicas, ao passo que não apresenta signos capazes de representar a distribuição das cargas dos ácidos que irão receber o par de elétrons, e não se preocupou em representar os bastões de forma que os ângulos fossem próximos das reais ligações entre os átomos que compõem a molécula.

É interessante destacar que para explicar a característica ácida do cloreto de alumínio, do trifluoreto de boro e do borano, a autora pontua que estes compostos “são ácidos porque têm orbitais de valência incompletos e podem aceitar um par de elétrons”. No entanto, as representações utilizadas pela mesma não são aptas a comunicarem essas informações, ao passo que se restringem a especificar quais os átomos presentes nas moléculas – por meio das letras – e a disposição dos átomos ligados uns aos outros, por meio dos bastões.

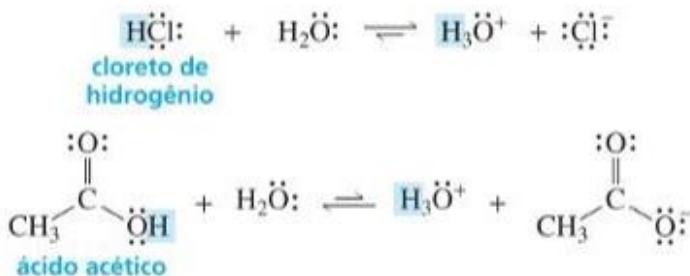
Considerando que os pares eletrônicos são um dos principais elementos que caracterizam uma reação ácido-base em Lewis, vemos que os deslocamentos dos mesmos na reação são representados por uma seta e inscrições escritas apontando o local onde os elétrons iniciam e onde eles terminam.

III) Representações moleculares na comunicação dos conhecimentos relativos às forças ácidas e básicas

- Efeito da capacidade de ionização nas forças ácidas e básicas

Ao introduzir os conceitos relativos às forças ácidas e básicas devido à capacidade de ionização das entidades químicas, a autora utilizou-se de duas reações ácido-base, uma representando um ácido forte e a outra um ácido fraco (figura 58).

Figura 58 Reações ácido- base.



Fonte: Bruice (2006)

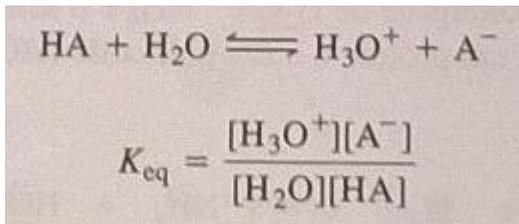
Na primeira reação entre o cloro de hidrogênio (HCl) e a água utiliza-se de representações moleculares condensadas, ou seja, letra/letra, composta de signos majoritariamente do tipo simbólico, e o próton do ácido destacado pelo retângulo azul claro. Já a segunda reação, referente ao ácido acético (CH₃COOH) com a água, traz a representação do ácido por meio de letra/bastão, e também destaca o próton que será liberado na reação. Pelo fato do ácido acético ser uma molécula maior que o cloro, o caráter icônico oriundo dos bastões – lembrando que são os bastões quando dentro de uma estrutura de

representação molecular – possibilitou visualizar com mais clareza a doação e o recebimento do próton H^+ .

Note-se que apenas pelas representações moleculares dispostas nas duas reações não é possível aferir sobre suas formas ácidas, sendo necessário a autora indicar no texto tal caráter representado pelas duplas de setas. Como podemos visualizar, as setas são de tamanhos diferentes e estão direcionadas para sentidos opostos. A seta maior indica o sentido em que se desloca a reação e, conseqüentemente, indica o ácido mais forte em questão.

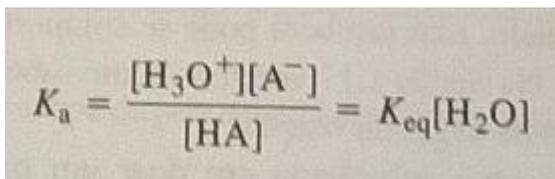
Do mesmo modo que na obra de Solomons e Fryhle (2005), as representações moleculares também foram utilizadas para referenciar as diferentes entidades químicas na expressão da constante de equilíbrio, e de K_a .

Figura 59 Uma reação ácido-base entre um ácido genérico e a água, juntamente com a expressão matemática.



Fonte: Bruice (2006)

Figura 60 Equação matemática para o cálculo da constante ácida.

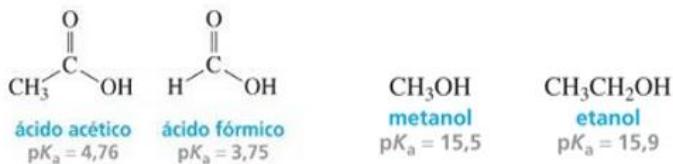


The image shows the mathematical equation for the acid constant K_a : $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = K_{eq}[H_2O]$.

Fonte: Bruice (2006)

Após a discussão sobre os cálculos de K_a e a convenção de utilizar valores de pK_a a fim de comparar valores de pK_a de ácidos e fracos, Bruice (2006) utilizou-se das seguintes representações moleculares:

Figura 61 Exemplos de compostos orgânicos associados aos seus valores de pK_a .

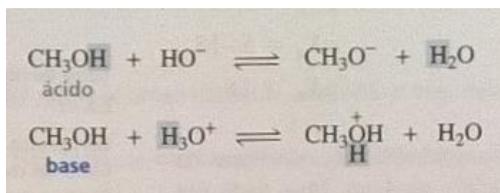


Fonte: Bruice (2006)

Ao compararmos as duas primeiras representações – referentes ao ácido acético e o ácido fórmico – as representações das moléculas de metanol e etanol, notamos que a utilização dos bastões auxilia na visualização da espacialidade das moléculas em questão, bem como na localização dos prótons (H^+). Como vimos, essa função desempenhada pelos bastões oferece maior caráter icônico para a representação, ao passo que as do tipo letra/letra são majoritariamente simbólicas, necessitando, conseqüentemente de um nível maior de abstração do intérprete.

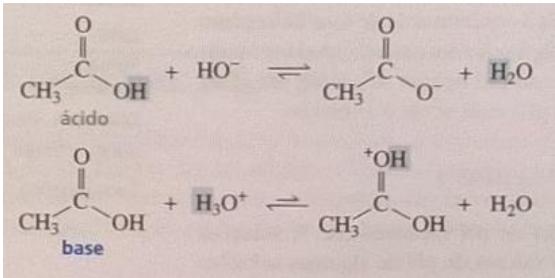
Trazendo para discussão exemplos de compostos que podem se comportar tanto como ácido, quanto como base, Bruice (2006) apresentou os exemplos do metanol (figura 62), do ácido carboxílico (figura 63) e da amina (figura 64).

Figura 62 Metanol em reações ácido-base.



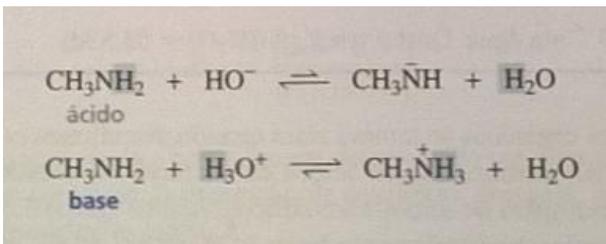
Fonte: Bruice (2006)

Figura 63 Ácido carboxílico em reações ácido-base.



Fonte: Bruice (2006)

Figura 64 Amina em reações ácido-base.



Fonte: Bruice (2006)

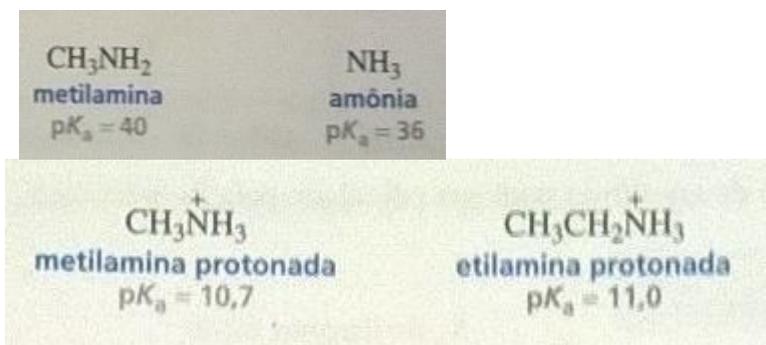
Notamos que ao comunicar as moléculas enquanto ácido ou base, independentemente se a representação molecular é do tipo letra/letra ou letra bastão, a autora utiliza o destaque em azul para o hidrogênio que se comportará enquanto próton do composto ácido, e ainda utiliza-se do recurso dos escritos ácido e base que acompanham as respectivas substâncias. Por exemplo, na figura 62 a molécula de metanol (CH₃OH), representada pelo tipo letra/letra, aparece com a inscrição *ácido* em sua parte inferior, e com o hidrogênio, que está ligado ao oxigênio, destacado em azul.

Já na reação que se segue, o mesmo apresenta-se sem o grifo azul, e sem a indicação escrita. Neste caso, além da ausência dos signos presentes na representação do metanol enquanto ácido, a presença do destaque em azul do hidrogênio do H₃O⁺ é um signo indireto da representação da molécula de metanol enquanto base. Ao avaliarmos as substâncias que são representadas por letra/letra ou letra/bastão,

considerando enquanto referências as demais formas que as moléculas foram representadas nessa obra, notamos a opção da autora em utilizar os bastões enquanto ligações químicas nas moléculas que apresentam dupla ligação.

Continuando a estabelecer relações entre os valores de pK_a e o caráter ácido de compostos orgânicos, Bruice (2006), fazendo referência às representações da figura 65, pontua que as aminas (figura 64) dificilmente irão se comportar enquanto ácidos, isto devido ao alto valor de pK_a .

Figura 65 Comparação de valores de pK_a de álcoois e aminas protonados ou não.

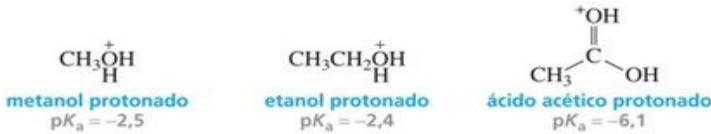


Fonte: Bruice (2006)

Sobre os sinais + presentes acima dos nitrogênios da metilamina e da etilamina, ao considerar que substâncias protonadas são consideradas mais ácidas, tais signos permitem que, se omitirmos os valores de pK_a da metilamina e da metilamina protonada, possamos prever que a substância não protonada apresenta um caráter menos ácido. Devido à possibilidade deste signo comunicar tal informação, compreendemos que por mais simbólico que o mesmo seja, seu caráter indexical acrescenta elementos do objeto na representação em questão.

Ao destacar a relação do aumento da acidez devido à protonação de diferentes compostos, Bruice (2006) pontua que uma substância protonada é quando a mesma ganha um próton adicional, e que devido a isso seu caráter ácido aumenta, utilizou-se das seguintes representações:

Figura 66 Relação do aumento da acidez devido à protonação de diferentes compostos.



Fonte: Bruice (2006)

Novamente notamos um padrão escolhido pela autora em utilizar os bastões apenas em substâncias que apresentam ligações duplas. Nos casos das representações do metanol e etanol protonados, mesmo sem fazer uso dos bastões, apresenta o próton recebido separadamente dos hidrogênios já presentes na molécula. Para isso, as representações dos prótons (H^+) ficam abaixo do oxigênio, dando a visualidade de uma formação de ângulo de 90° com os outros hidrogênios presentes na extremidade direita dos oxigênios das moléculas. Novamente, há utilização de um signo simbólico que, ao fornecer informações sobre qualidades do objeto, considera-se uma elevação no caráter icônico da representação.

O caráter diretivo ao associar as forças ácidas e básicas aos valores de $\text{p}K_a$, são reafirmados quando a autora pontua que “É importante saber os valores de $\text{p}K_a$ aproximados de várias classes de substâncias discutidas” e utiliza a tabela 5 para comunicar alguns valores importantes de $\text{p}K_a$:

Figura 67 Tabela com diferentes compostos e seus valores de pK_a aproximados..

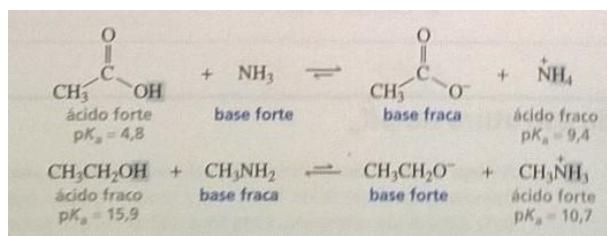
Tabela 1.8 Valores de pK_a aproximados			
$pK_a < 0$	$pK_a \sim 5$	$pK_a \sim 10$	$pK_a \sim 15$
ROH_2^+ álcool protonado	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ ácido carboxílico	RNH_3^+ amina protonada	ROH álcool
$\text{R}-\overset{\text{OH}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ ácido carboxílico protonado			H_2O água
H_3O^+ água protonada			

Fonte: Bruice (2006)

Nota-se que a estratégia de grifar o hidrogênio a fim de indicar que o mesmo é o próton oriundo do ácido em azul é retomada nessas representações. As representações moleculares presentes nesta figura também estão acompanhadas de seus valores de pK_a e de suas nomenclaturas escritas. Na figura acima são apresentadas representações do tipo letra/letra, e letra/bastão. Nota-se a utilização da letra R para representar grupos genericamente. Diferentemente de uma molécula com representação definida, ou seja sem o R, que é um sin-signo, representações com o R são mais legi-signos, pois não se referem a uma substância específica, mas a uma classe de substâncias, de modo que a finalidade do livro é que o estudante aplique aqueles exemplos para uma diversidade de outros compostos semelhantes à estrutura apresentada.

Por fim, ao comunicarem que ácidos e bases fortes reagem para formar ácidos e bases fracas, e que o equilíbrio de uma reação ocorre do ácido forte para o ácido fraco, utilizou-se de representações e signos já vistos até aqui.

Figura 68 Ácidos e bases fortes reagem para formar ácidos e bases fracas.



Fonte: Bruice (2006)

Encontramos na figura 68 representações tanto do tipo letra/bastão quanto letra/letra, bem como recursos de destaque do próton e das cargas geradas por eles que são realizadas por meio de destaques em azul do hidrogênio e sinais de soma (+). A tendência de utilização de representações acompanhadas de indicações escritas sobre seu caráter ácido ou básico também se faz presente.

- Efeito da estrutura nas forças ácidas e básicas

Como as duas primeiras obras, ao trazer as implicações da estrutura da molécula na força ácida, a autora faz relação à disposição de elementos químicos na tabela periódica.

Ao relacionar a disposição dos átomos em seu período da tabela, Bruice (2006, p. 44) coloca que “os elementos do segundo período da tabela periódica são todos do mesmo tamanho, mas eles têm eletronegatividades bem diferentes. As eletronegatividades aumentam ao longo do período da esquerda para a direita. Dos átomos mostrados, o carbono é o menos e o flúor o mais eletronegativo”.

Mesmo Bruice (2006) sendo a única autora, até agora, a avançar na explicação do porquê se associa o caráter crescente da eletronegatividade à sequência de átomos pertencentes a um mesmo período da tabela periódica, assim o faz de maneira equivocada, ao passo que ao afirmar que todos os átomos de um mesmo período apresentam o mesmo tamanho, exclui-se a associação das influências dos diferentes tamanhos dos raios atômicos na eletronegatividade dos elementos em questão.

Por exemplo, ao abordar as implicações da eletronegatividade na força dos ácidos, tanto Solomons e Fryhle (2005), na figura 42, como Bruice (2006), a seguir, partiram da organização de elementos do segundo período a fim de associarem os mesmos com a força de eletronegatividade. Como visto no tópico anterior, os autores da segunda obra, utilizaram uma seta, com inscrições informativas sobre o sentido do aumento de tal caráter – eletronegativo. Já nesta obra – obra III – na mesma lógica representacional, a autora utilizou-se de sinais de $>/<$.

Figura 69 Escala da eletronegatividade relativa de diferentes elementos químicos.

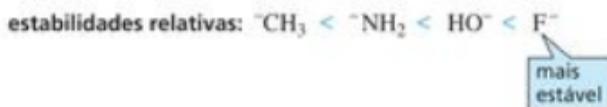


Fonte: Bruice (2006)

No lugar das indicações presentes na seta de Solomons e Fryhle (2005), Bruice (2006) recorre aos seus “balões informativos”, indicando qual é o elemento mais eletronegativo e, conseqüentemente, a direção de maior eletronegatividade.

Com base na escala de eletronegatividade dos elementos químicos apresentada e relacionando a eletronegatividade com a estabilidade das bases formadas quando os hidrogênios são ligados a tais elementos químicos, a autora, com a mesma lógica representacional, traz uma seqüência de estabilidades e, assim, uma seqüência de força básica dos compostos, na figura 70.

Figura 70 Escala das estabilidades relativas de algumas bases..

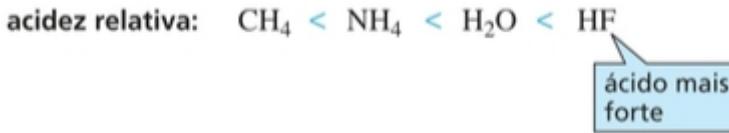


Fonte: Bruice (2006)

Os signos maior/menor presentes entre os íons indicam que as estabilidades das bases aumentam da esquerda para a direita. Já os sinais de subtração (-) fazem referência à carga líquida do íon.

Continuando a utilização de escalas para comunicar sobre a relação entre eletronegatividade, estabilidade das bases e força ácida, a fim de comunicar que o “ácido mais forte é o que forma a base conjugada mais estável, então o HF é o ácido mais forte e metano é o ácido mais fraco”, utilizou-se das representações dispostas na figura 71.

Figura 71 Escala de acidez relativa.



Fonte: Bruice (2006)

Bruice (2006) ainda apresenta uma tabela com algumas moléculas acompanhadas de seus respectivos valores de $\text{p}K_a$.

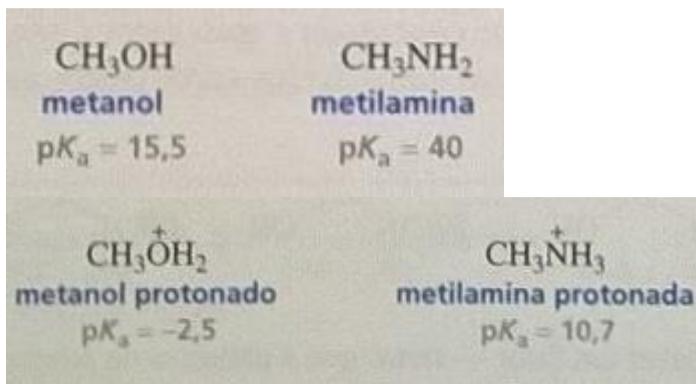
Figura 72 Tabela com valores de $\text{p}K_a$ de alguns ácidos simples.

CH_4 $\text{p}K_a = 50$	NH_3 $\text{p}K_a = 36$	H_2O $\text{p}K_a = 15,7$	HF $\text{p}K_a = 3,2$
		H_2S $\text{p}K_a = 7,0$	HCl $\text{p}K_a = -7$
			HBr $\text{p}K_a = -9$
			HI $\text{p}K_a = -10$

Fonte: Bruice (2006)

Como podemos observar, as moléculas estão organizadas em ordem crescente, da esquerda para a direita, de acordo com número de átomos de hidrogênio em cada molécula e do valor do $\text{p}K_a$ das mesmas. Por meio desta tabela, a autora conclui que “quando os átomos são semelhantes em tamanho, a substância mais ácida será seu hidrogênio ligado ao átomo mais eletronegativo” (p. 45). Bruice (2006) comunica a explicação para o efeito que a eletronegatividade do átomo ligado a um hidrogênio tem na acidez do mesmo – hidrogênio – por meio da comparação de valores de $\text{p}K_a$ de álcoois e aminas protonados ou não, como mostrado na figura 73.

Figura 73 Explicação para o efeito que a eletronegatividade do átomo ligado a um hidrogênio tem na acidez do mesmo.



Fonte: Bruice (2006)

Já ao comparar os efeitos causados por átomos de diferentes tamanhos na estabilidade da base, Bruice (2006, p. 45) pontua que “o tamanho do átomo é mais importante que sua eletronegatividade, determinando como este suporta a carga negativa”. A autora, ao fazer essa consideração, explica que quando os elementos, em uma determinada coluna da tabela periódica, aumentam de tamanho de cima para baixo, inversamente, a eletronegatividade diminui nesta mesma direção entre os elementos.

Figura 74 Representações da influência do tamanho do átomo na força ácida.



Fonte: Bruice (2006)

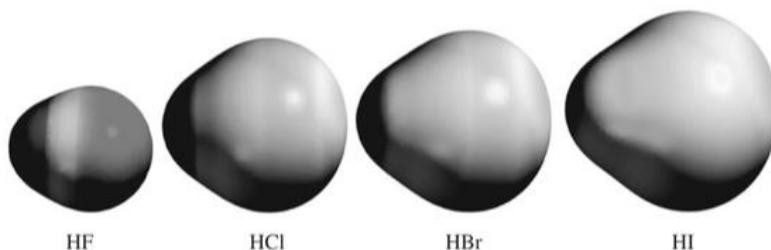
Ao nos depararmos com os conjuntos de representações utilizadas por Bruice (2006), para comunicar informações referentes à interferência da eletronegatividade dos diferentes átomos ligados a um hidrogênio, ao passo que a mesma – eletronegatividade – influencia na dimensão atômica, encontramos a utilização majoritária de símbolos, devido ao fato de utilizar letras tanto para representar as moléculas quanto as bases e os elementos químicos isolados. Notamos, ainda, a presença dos sinais de maior e menor para serem os signos responsáveis por simbolizar a escala de eletronegatividade entre os elementos, estabilidade entre as bases e acidez relativa. Outro recurso utilizado são os balões dando indicações sobre os caracteres individuais de alguns elementos.

Destacamos, porém, que na primeira escala encontramos a utilização de um balão para reforçar que o flúor é o elemento mais eletronegativo – caráter esse já comunicado pelo conjunto de representações moleculares organizadas em uma escala de força – e outro indicando que o elemento iodo é o maior dentre os presentes. Este conjunto representacional, ao apresentar estes signos para caracterizar tanto a variação da eletronegatividade, quanto o tamanho do átomo, acaba por induzir a um possível equívoco no processo de interpretação, ao passo que não tem como fazer isso numa mesma escala, com esses tipos de signos. Pois, se a eletronegatividade varia dessa forma, $F > Cl > Br > I$, a relação de raios é justamente oposta $F < Cl < Br < I$. A autora quer resolver o problema através de uma única representação, escala,

mas não dá. Daí a importância de se ter em mente que cada representação tem um objetivo claro. Não basta querer colocar que o iodo (I) é maior sendo que a representação como um todo tem outro objetivo. Já a segunda escala presente na mesma figura 74, se propõe a comunicar que o íon negativo é mais estável quanto maior for o espalhamento da carga da base conjugada. Semelhantes às demais, as representações moleculares utilizadas não possibilitam que se comunique informações do mundo submicroscópico associadas a tais fenômenos, devido ao fato de serem constituídas pelas letras que apenas simbolizam um elemento químico em geral, sem trazer para comunicação as qualidades sobre o objeto molecular. Como vimos, esse tipo de signo é compreendido enquanto um símbolo, trazendo, assim, um alto nível de abstração e um baixo nível de iconicidade. Por fim, a terceira escala apresenta, em ordem crescente de força ácida, as moléculas do ácido fluorídrico, clorídrico, bromídrico e do ácido iodídrico, dispostos entre sinais de menor (<) a fim de representar o sentido da escala. Note-se que na informação sobre o ácido mais forte, além do conjunto das representações moleculares dispostas em escala, a autora utilizou-se novamente de um balão com indicação escrita.

Complementando a discussão sobre o efeito do tamanho do átomo na estabilidade da base, a autora utiliza os M.P.E. das moléculas de HF, HCl, HBr e HI (figura 75), a fim de “ilustrar” – denominação utilizada pela autora – que conforme “andamos” no grupo, as regiões de alta probabilidade de se encontrar o elétron diminuem, de modo a ficar uma distribuição uniforme na molécula.

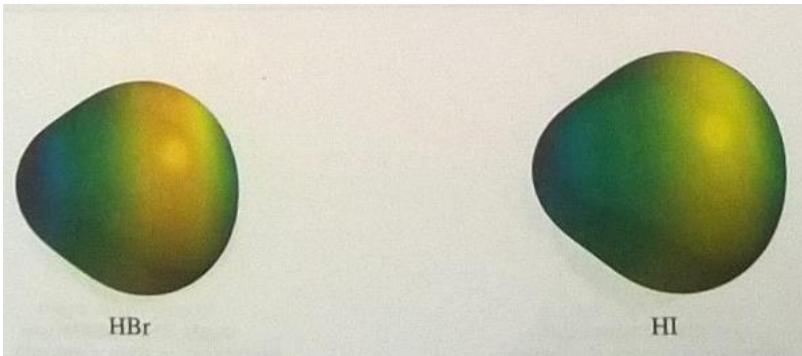
Figura 75 Mapas de potencial eletrostático das moléculas de HF, HCl, HBr e HI monocromáticos (a) e coloridos (b) e (c).



(a)



(b)



(c)

Fonte: Bruice (2006)

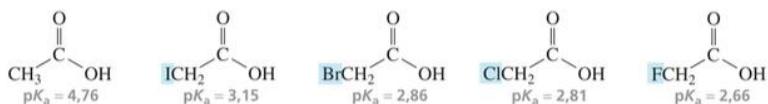
Devido ao fato da acidez do H estar relacionada com a eletronegatividade do átomo que o mesmo se liga, ao compararmos as representações das moléculas de HF, HCl, HBr e HI por meio de seus M.P.E. (figura 75), compostos majoritariamente por signos icônicos, com as representações do tipo letra/letra, de caráter essencialmente simbólicos, da figura 74, podemos observar que os signos que constituem os mapas são capazes de comunicar diferentes informações em sua própria estrutura, diferentemente do tipo letra/letra, em que necessitou-se de diferentes escalas e signos extra representação molecular.

Por exemplo, ao compararmos os mapas do HI e do HF, podemos compreender - sem o auxílio de signos externos -, na representação molecular, que o primeiro apresenta maior caráter ácido quando comparado ao segundo ($K_a \text{ HI} > K_a \text{ HF}$). Os signos que nos levam a tais compreensões são referentes tanto ao tamanho das representações, quanto em relação às cores que as constituem. Neste caso, os tamanhos e as formas dos mapas se referem à distribuição espacial da superfície de carga das moléculas; já as cores, enquanto signos icônicos capazes de comunicar a variação de densidade eletrônica, são capazes de expressar que o mapa da primeira molécula representa uma alta polaridade, devido às presenças das cores azul e vermelho em cada uma das extremidades da mesma - dado que, como a diferença entre os valores dos comprimentos de onda/frequência dessas cores no espectro eletromagnético é significativo, a diferença de densidade eletrônica que procura representar também será significativa - e o segundo, o mapa do HI, apresenta menor polaridade por possuir uma maior homogeneidade em suas cores, que apresentam, ainda, valores intermediários de comprimentos de onda/frequência na escala da região visível do espectro e próximos entre si. Ou seja, indica pequenas variações em sua densidade eletrônica superficial.

- Efeito da indução nas forças ácidas e básicas

A fim de comunicar as implicações do efeito indutivo na retirada de elétrons, e conseqüentemente nas forças ácidas e básicas, Bruice (2006) apresentou a figura 76 ao fazer o questionamento de que mesmo o próton ácido, de cada um dos ácidos carboxílicos, ao estarem ligados um átomo de oxigênio, os mesmos apresentam acidez diferentes.

Figura 76 Representações da influência dos diferentes íons na acidez das moléculas.



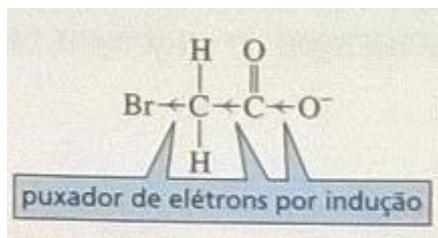
Fonte: Bruice (2006)

Nota-se que as informações sobre as forças ácidas e básicas, de cada ácido carboxílico, não foram comunicadas por meio de signos que constituem as representações moleculares, mas sim por meio de valores

de pK_a . Já os diferentes halogênios, enquanto elementos químicos que influenciam diretamente na força dos ácidos, foram representados por meio de letras, como todos os outros elementos químicos da figura 76, foram destacados em grifo azul – semelhante ao recurso visual para representar o H. Destacamos que a utilização de bastões, nas representações do tipo bola/bastão, facilitou a visualização das disposições do átomo na molécula, possibilitando compreender a substituição dos halogênios na estrutura molecular.

Ao explicar sobre o fenômeno da indução, Bruice (2006, p. 46) coloca que “um átomo eletronegativo de halogênio puxa os elétrons para si”. Puxar elétrons por meio de uma ligação sigma é chamado efeito indutivo por retirada de elétrons. A autora ainda pontua, antes de inserir a representação da figura 77, que “se olharmos para a base conjugada de um ácido carboxílico, observamos que puxadores de elétrons por indução vão estabilizá-la pelo decréscimo da densidade eletrônica sobre o átomo de oxigênio. Estabilizar uma base aumenta a acidez de seu ácido conjugado” (Bruice, 2006, p. 49).

Figura 77 Representação do efeito de indução em uma molécula.



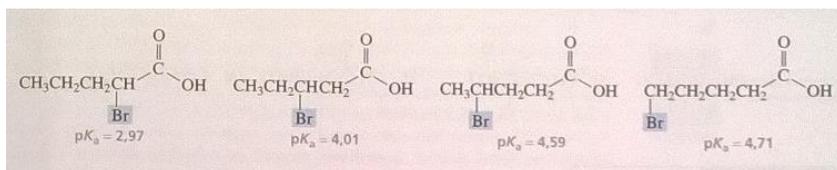
Fonte: Bruice (2006)

Como podemos observar, utilizou-se do tipo letra/bastão e pontas de setas, agregadas a alguns bastões, com o objetivo de representar o fenômeno de indução. Nota-se que as pontas de setas justapostas aos bastões representam o sentido do fluxo de elétrons. Porém, ao inserir o balão informativo com a inscrição “puxador de elétrons por indução”, pode-se compreender que os puxadores de elétrons são as ligações justapostas às pontas de seta, uma vez que os mesmos indicam cada uma delas, e não destacam o principal contribuinte para isso, o átomo de bromo. Destacando o caráter sógnico presente nas representações moleculares, utilizado para comunicar tais conhecimentos, além dos já

conhecidos letra/bastão e sinal de subtração (-), trazem as pontas de setas enquanto um signo indexical, considerados signos complementares à estrutura da representação molecular em questão.

Por fim, Bruice apresenta mais quatro representações (figura 78) de ácidos a fim de comunicar o efeito de um substituinte na acidez de uma substância conforme a distância entre os substituintes e o átomo de oxigênio aumenta.

Figura 78 Representações de ácidos a fim de comunicar o efeito de um substituinte na acidez de uma substância.



Fonte: Bruice (2006)

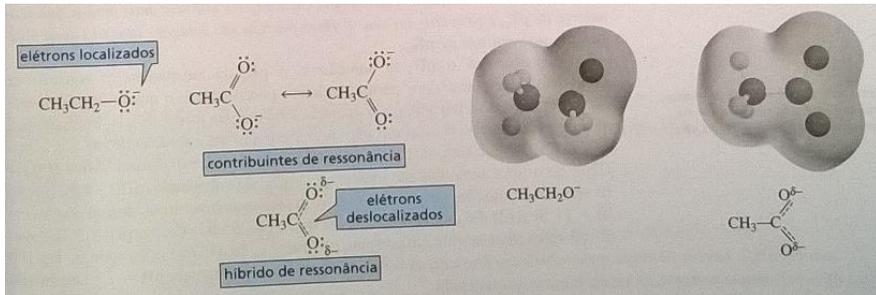
As representações apresentam-se constituídas por letras/bastões, de caráter simbólico majoritário, e destacam o elemento bromo em grifo azul a fim de tornar mais visível o local alocado de tal substituinte próximo ao oxigênio. O caráter ácido novamente não é trazido na própria estrutura molecular, como no caso dos M.P.E., mas sim na relação de cada um com os respectivos valores de pK_a que acompanham as mesmas.

- Efeito da hibridização nas forças ácidas e básicas

Ao apresentar que alguns fatores levam um ácido carboxílico a ser mais ácido que um álcool, Bruice (2006) traz para discussão a referência da estabilidade da base conjugada de ambos os compostos – uma vez que quanto mais estável a base maior será a força ácida dos compostos em questão – a fim de se discutir os efeitos da ressonância no valor da força ácida da mesma. As representações trazidas pela autora são apresentadas na figura 79 e, novamente são atribuídas a tais representações a capacidade de confirmação da realidade. Segundo Bruice (2006) os mapas de potencial eletrostático utilizados “mostram que há menos densidade eletrônica nos átomos de oxigênio no íon

carboxilato (região laranja) que no átomo de oxigênio do íon alcóxido (região vermelha) (BRUICE, 2006, p. 49).

Figura 79 Conjunto de representações moleculares a fim de comunicar os efeitos da ressonância na acidez.



Fonte: Bruice (2006)

Os dois mapas de potencial, são trazidos no encarte por meio das cores vermelho, laranja, amarelo e verde (figura 80).

Figura 80 Representação em cores de M.P.E. justaposto à bola/bastão.



Fonte: Bruice (2006)

Em relação ao efeito da deslocalização dos elétrons, a fim de representar a existência de uma menor densidade eletrônica nos átomos de oxigênio no íon carboxilato, do que no átomo de oxigênio do íon alcóxido, Bruice (2006) utilizou-se de M.P.E. e representações do tipo letra/bastão, sendo algumas das letras acompanhadas pelos dois pontos (:) e o sinal de subtração. Tem-se, ainda, as letras gregas com sinais de subtração e os balões informativos. Observamos que além dos bastões enquanto signos de ligações químicas, encontra-se a linha tracejada representando as ligações em ressonância oriundas dos elétrons deslocalizados. Em relação ao caráter sígnico destes signos, semelhante

aos bastões, apresentam principalmente o caráter icônico ao passo que traz semelhança em relação à localidade em que o par de elétrons pode percorrer na ligação da ressonância.

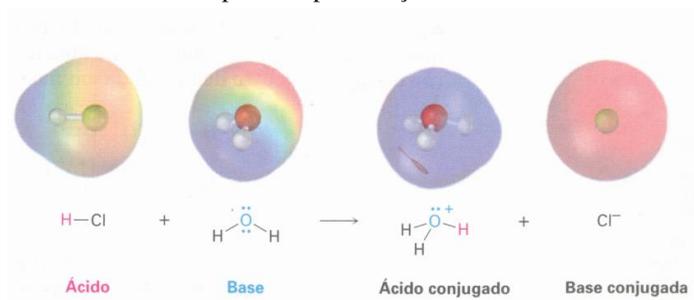
4.4.4 Livro nº 4, “Química Orgânica Combo”, do autor John McMurry

Finalmente, apresentamos os dados e análises referentes à última obra analisada. Nela, as abordagens sobre ácido e base são apresentadas no segundo capítulo, intitulado “Ligações Covalentes Polares; Ácidos e bases”. Devido ao fato das forças ácidas e básicas terem sido apresentadas conjuntamente em um dos tópicos do capítulo de tal obra, tais conhecimentos foram apresentados por nós também por meio de apenas um subtópico, denominado de “**Justificando força ácida e básica por meio da estrutura molecular e dos efeitos de ressonância**”.

D) Representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Brønsted-Lowry

Com base na teoria ácido-base de Brønsted-Lowry, em que um ácido “é uma substância que doa um próton (H^+) e uma base de Brønsted-Lowry é uma substância que recebe um próton”, McMurry (2011, p. 44), ao introduzir tais conhecimentos, utilizou do exemplo de reação ácido-base, entre o cloreto de hidrogênio gasoso e a água, contento diferentes tipos de representações moleculares (figura 81).

Figura 81 Reação ácido-base, entre o cloreto de hidrogênio gasoso e a água, contento diferentes tipos de representações moleculares.



Fonte: McMurry (2011)

Note-se que, embora esses tipos de representações já tenham sido utilizados em outras obras, nessa o autor as articulou de maneira diferente. Cada elemento presente na reação ácido-base, representado pelos tipos letra/bastão, é acompanhado por uma representação do tipo M.P.E. justaposto a bola/bastão. Essa articulação possibilita que um mesmo objeto seja representado por meio de diferentes signos, permitindo maior número de informações sobre o mesmo.

Nesse sentido, no caso da molécula de água, por exemplo, as letras que compõem a representação, por meio de seu caráter simbólico, especificam que a mesma é formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. Já os bastões, por meio de seu caráter icônico, comunicam o modo como estes elementos estão ligados, possibilitando uma noção da geometria da molécula, uma qualidade da mesma, mesmo que de forma grosseira. Tem-se, ainda, os dois pontos (:), que pela sua iconicidade em nível operacional, ao representarem o número de elétrons da camada de valência do oxigênio, acrescentam mais uma qualidade sobre a molécula da água. A representação ainda apresenta o oxigênio em cor azul, em uma possível tentativa de destacar o mesmo enquanto o receptor do próton. Ainda em relação à representação molecular da água, mas agora nos referindo aos M.P.E. justapostos às bola/bastão, quando analisados enquanto representações justapostas e não enquanto partes de uma mesma representação, são habilitados a representarem diferentes qualidades sobre as entidades químicas em questão. Por exemplo, a diferença de tamanho e cores entre os elementos hidrogênio e oxigênio. Note-se que a articulação entre a representação letra/letra, que simboliza o elemento oxigênio enquanto o átomo ligado aos dois hidrogênios, com a do tipo bola/bastão, possibilita que interpretemos a bola vermelha como sendo o oxigênio. E consequentemente as outras duas bolas, de cores e tamanhos iguais – considerando a disposição tridimensional – representam os hidrogênios. Articulação semelhante ocorre entre as representações bola/bastão e os M.P.E., ao passo que podemos associar a alta densidade de carga na parte superior do mapa ao átomo de oxigênio, e a baixa densidade – representada pela cor azul – aos átomos de oxigênio.

Expandindo a dinâmica de associações entre diferentes representações na comunicação dos conhecimentos sobre ácidos e bases, ao visualizá-la em um contexto amplo, podemos ter uma representação do que ocorre em nível submicroscópico na reação em questão. Note-se que, por meio das escalas de cores dos M.P.E., representando o caráter polar das moléculas, podemos identificar as regiões relativas às cargas

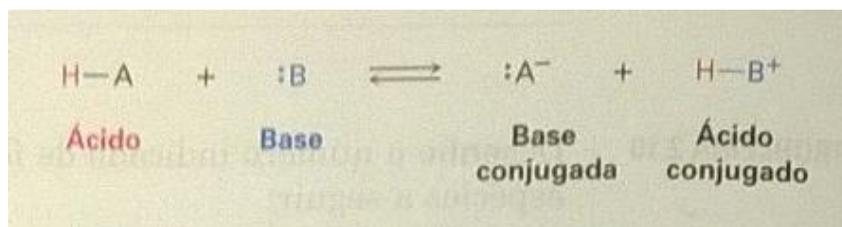
do próton que será doado pelo ácido, e a região pertencente à base que receberá o mesmo. Esses locais são a área em azul referente ao hidrogênio do HCl, e a área vermelha referente ao oxigênio da H₂O. Após a reação nota-se que a aceitação do próton implicou em um ácido (H₃O⁺) e uma base (Cl⁻) conjugado de caráter apolar, representado, respectivamente, pelas cores azul e vermelha.

Ainda sobre a figura 81, destacamos que semelhante ao destaque dado ao oxigênio da molécula de água, ao ser representado pela cor azul, o hidrogênio do ácido clorídrico se apresenta pela cor rosa. E abaixo de cada representação, é identificado o caráter da entidade química, em ácido, base, ácido conjugado e base conjugada. Tal recurso auxilia na associação entre os elementos e o caráter da molécula. Consideramos, também, que utilizar cores enquanto recurso representacional possibilita melhor visualização da formação do íon hidrônio, por meio do ganho do próton pela água.

Ressaltamos ainda que, como já apontado no decorrer das análises, a sobreposição desses dois tipos de representações carrega em si problemáticas ligadas às suas fundamentações teóricas, pois trazem à tona duas interpretações acerca da constituição e estrutura fundamental da matéria contrastantes entre si.

McMurry (2011, p. 46), para comunicar que o íon hidrônio é o “produto resultante do ganho de um próton pela base H₂O, é denominado ácido conjugado da base, e o íon cloreto, produto que resulta do fato de o ácido HCl perder um próton, é chamado de base conjugada do ácido”, utilizou uma reação com representações moleculares genéricas (figura 82) e duas reações com exemplos específicos de ácidos (figura 83).

Figura 82 Reação ácido-base genérica.

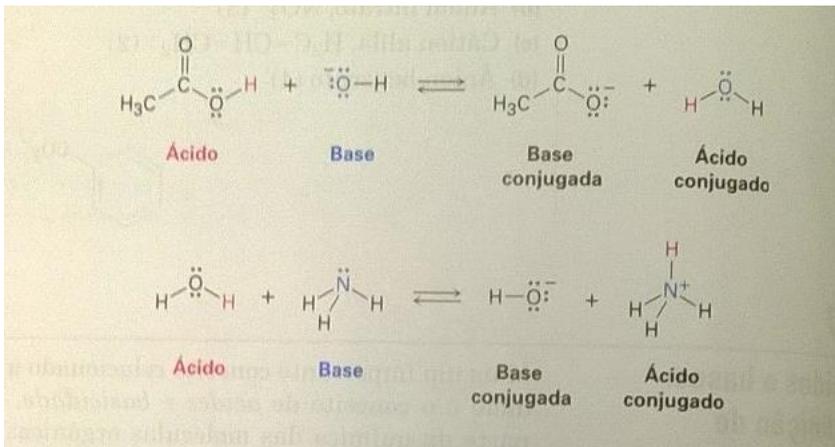


Fonte: McMurry (2011)

Como já pontuado, a figura 82 traz uma reação ácido-base genérica, na qual apenas o hidrogênio (H) representa um elemento químico em específico, os demais elementos são substituídos pelas letras A e B, representando respectivamente os átomos que compõem a molécula ácida e básica. Semelhante às representações do tipo letra/letra que representam elementos químicos específicos, as letras que representarem elementos químicos gerais também são consideradas signos de caráter simbólico, uma vez que ao se relacionarem com o objeto, assim o fazem por meio de relações de leis e generalidades. Nota-se que estas letras apresentam as mesmas cores das representações da figura 81, e que as principais entidades que caracterizam este tipo de reação se fazem presentes: o elemento que dará origem a um próton e os pares de elétrons da base.

Já a figura 83, com o mesmo intuito de comunicar saberes sobre as bases e ácidos conjugados, porém por meio de uma reação real, também apresenta-se composta de representações do tipo letra/bastão, e segue o mesmo estilo das anteriores: utilização da cor rosa na representação do próton que será doado em uma molécula ácida, e da cor azul representando o elemento e os pares eletrônicos que os permitem receber o próton.

Figura 83 Dois exemplos de reações ácido-base.



Ao compararmos com a figura 82, observa-se que, em relação ao ácido, exceto o hidrogênio, todos os elementos são simbolizados pela letra A, e no caso da base, o íon hidróxido é substituído pela letra B, sendo mantida apenas a representação do par de elétrons que será compartilhado com o próton. O mesmo ocorre com as representações de ácido e base na segunda reação. É interessante notar que as próprias cores empregadas na representação do hidrogênio e oxigênio são consideradas signos, estes de caráter indexical, ao passo que especifica qual será o hidrogênio que será doado pela molécula de ácido carboxílico. Ou seja, podemos considerar a cor presente no hidrogênio do ácido conjugado, por exemplo, enquanto um signo capaz de representar o hidrogênio específico, do ácido carboxílico, que será liberado enquanto um próton.

Além dos signos que já trazem em si seu caráter icônico ao comunicar o objeto – como no caso das cores dos M.P.E. ou os bastões das ligações –, a medida que McMurry (2011) articula diferentes tipos de representações moleculares, e diferentes estratégias representacionais, possibilita-se que se comunique distintas informações sobre o objeto, bem como inúmeras maneiras de se representar um mesmo objeto – por exemplo, o caso de dois diferentes tipos de representações a fim de representar uma mesma molécula (figura 81), ou mesmo as cores que definem quem é o próton e quem é o elemento que poderá receber esse próton. O que implica em um aumento da natureza icônica da representação. Isto ocorre por esses fatores agregarem mais qualidades nas representações sobre o objeto, porém, sem que esse caráter sígnico vise representar o objeto por semelhança na aparência.

Como visto, a utilização das representações moleculares na comunicação dos conhecimentos sobre ácidos e bases, com fundamento na teoria de Brønsted-Lowry, são utilizadas em diferentes contextos representacionais. Como por exemplo, tabelas, gráficos, equações químicas, entre outros. Consta-se também que ocorre um aumento progressivo da iconicidade apresentada pelas representações, tanto do conjunto de signos que compõem as representações moleculares, quanto dos signos extras presentes no contexto em que as mesmas se apresentam. Na primeira obra, dos autores Morrison e Boyd (1978), as representações utilizadas foram as que trouxeram menor caráter icônico em relação aos objetos moleculares que representavam, sendo apresentadas apenas por representações do tipo letra/letra, numerais e sinais matemáticos (+/-) a fim de evidenciar a doação e recebimento do próton. Já na segunda obra, Solomons e Fryhle (2005) além de

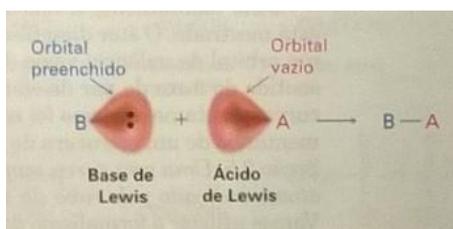
utilizarem as representações do tipo letra/bastão, também fizeram uso das representações de pares eletrônicos. Destacamos que, estes pares eletrônicos são a inclusão de um elemento característico do modelo de Lewis, e apenas a primeira obra - Morrison e Boyd (1978) - fez uso de uma representação sem pares eletrônicos, ou seja, somente ela utilizou uma representação que se apresenta como a mais simbólica possível no contexto do modelo de Brønsted-Lowry.

Assim, os signos mais icônicos presentes nas representações, utilizadas na comunicação da teoria ácido-base de Brønsted-Lowry, não se referem a um dos principais objetos que definem a teoria em questão – o próton. Como visto, os autores Solomons e Fryhle (2005) fazem uso de bastões, que também são signos de caráter icônico, na representação da molécula de ácido clorídrico, enquanto um composto capaz de doar um próton, segundo Brønsted-Lowry. Além de signos complementares – os sinais matemáticos – e pares eletrônicos que também foram utilizados por Bruice (2006) ao representar as entidades químicas por meio dos tipos letra/letra. Lembramos que a autora ainda utilizou-se de um signo complementar a fim de dar destaque ao próton, ao justapor um retângulo azul claro ao próton da reação. Já na obra de McMurry (2011), além da utilização de representações já trazidas por outros autores, como a letra/bastão, sinais matemáticos e pares eletrônicos, o autor agrega ao processo de comunicação as representações do tipo M.P.E. justapostos às bola/bastão. Essa dinâmica proposta pelo autor é extremamente pertinente do ponto de vista semiótico e pedagógico aqui adotado, ao passo que possibilita ao leitor diferentes maneiras de compreender partes das realidades moleculares. Claro que, para que haja a interpretação das diferentes representações, se faz necessário que o sujeito tenha claro o modo que deve interpretar as mesmas. É interessante notar que, por meio da articulação de diferentes signos, originou-se diferentes maneiras de comunicar um mesmo objeto, nesse caso os conceitos que embasam o modelo de reações ácido-base segundo Brønsted-Lowry. Isso aponta para a pertinência indicada por diversos autores, dentre eles Souza (2012), que afirma que a utilização de diferentes estratégias na comunicação dos conhecimentos químicos auxilia na construção dos mesmos por parte dos estudantes.

II) Representações moleculares na comunicação do modelo ácido base de Lewis

McMurry (2011, p. 53), a fim de comunicar que “um ácido de Lewis é uma substância que recebe um par de elétrons e uma base de Lewis é uma substância que doa um par de elétrons”, e que o par de elétrons doado é compartilhado entre o ácido e a base em uma ligação covalente, utilizou das representações contidas na figura 84.

Figura 84 Reação ácido-base genérica segundo Lewis.



Fonte: McMurry (2011)

Articulando de diferentes maneiras signos já trazidos anteriormente, e apresentando outros ainda não utilizados, esta obra foi a única que trouxe para a representação signos que representam os orbitais moleculares. Novamente a autora utiliza do recurso de simbolizar toda uma molécula por meio de uma única letra. Assim, utiliza-se da letra B para a base, e A para o ácido. Note-se que tais letras continuam sendo representadas pela cor azul e vermelha, respectivamente.

Sobre os signos utilizados para comunicar os processos de doação e recebimento de um par de elétrons, vimos que nas três primeiras obras utilizou-se de dois pontos (:), enquanto o par de elétrons não ligante do nitrogênio da amônia a ser doado, e a utilização de sinais de somatória para representar as baixas concentrações de cargas eletrônicas localizadas em um dos átomos da molécula de base que irá aceitar os elétrons. Já nesta quarta obra, McMurry (2011) utilizou-se da representação de orbitais moleculares, constituídos de signos em forma esférica de símbolo do infinito pela metade e preenchidos pela cor vermelha, a fim de comunicar os processos de doação e recebimento de elétrons.

No caso da base, tem-se então a estrutura molecular, ou seja, os átomos que constituem a molécula, representada pela letra B, e ao lado

direito da mesma, encontra-se a representação do orbital molecular, justaposto às representações de um par de elétrons por meio de dois pontos. Note-se que novamente ocorre o equívoco de trazer, em um mesmo conjunto representacional, signos que remetem a concepções teóricas contraditórias entre si. Isto se deve ao fato da ilustração do orbital remeter a uma interpretação da constituição da matéria fundamentada em pressupostos da teoria quântica – como os da dualidade onda-partícula e densidade de probabilidade eletrônica – ao passo que os dois pontos, embasados em uma visão corpuscular da matéria, representam o par de elétrons a ser doado como partícula maciça e definida no espaço.

De maneira semelhante, a representação do ácido de Lewis traz o mesmo signo para representar o orbital molecular, do lado esquerdo da letra A, porém, por ser referente à um orbital vazio, não traz a representação do par de elétrons. Observe-se que os orbitais dos reagentes da reação estão voltados um para o outro, possibilitando que compreendamos a possível aproximação entre ambos a fim de indicar a reação que ocorrerá entre eles. Porém, após a reação vemos que estes orbitais não são mais representados, e a ligação entre os dois compostos é representada pelo bastão.

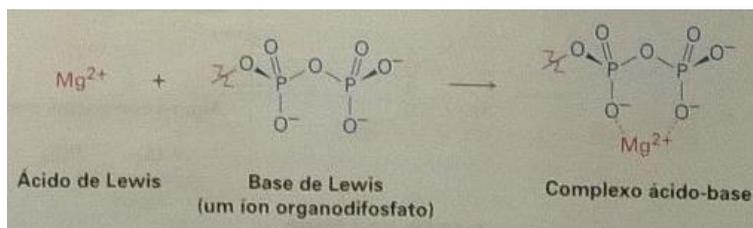
Outro recurso signico que consideramos problemático é o uso da cor vermelha em ambos orbitais. Caso associemos a cor dos mesmos com as convencionadas para os M.P.E., que foram utilizados no decorrer do livro, permite-se conceber que elas se referem às regiões de altas densidades de cargas eletrônicas. O que seria absurdo para o caso do ácido de Lewis representado pela letra A.

Pontuamos que muitos equívocos representacionais poderiam ser evitados se os autores trouxessem no texto explicações sobre como deve-se interpretar os signos que compõem as diferentes representações. No caso do McMurry, além de não especificar o modo de interpretar tais representações no tópico referente à figura 84, ao trazer para a discussão os orbitais atômicos, em um tópico posterior, referente à “ácidos de Lewis e o formalismo da seta curva”, o autor assim o faz utilizando-se de representações do tipo letra/bastão (figura 84). Trazemos para dialogar com a figura 85 e o fragmento do texto que antecede as representações utilizadas.

Um ácido de Lewis poder receber um par de elétrons significa que ele deve possuir um orbital vazio, de menor energia ou uma ligação polar com o hidrogênio, de modo que ele possa doar esse H+

(que possui um orbital 1s vazio). Desse modo a definição de Lewis de acidez inclui muitas espécies além do H^+ . Por exemplo, vários cátions metálicos Mg^+ são ácidos de Lewis porque recebem um par de elétrons que forma uma ligação com uma base. (McMURRY, 2011, p. 53).

Figura 85 Reação ácido-base com formação de um complexo ácido-base.



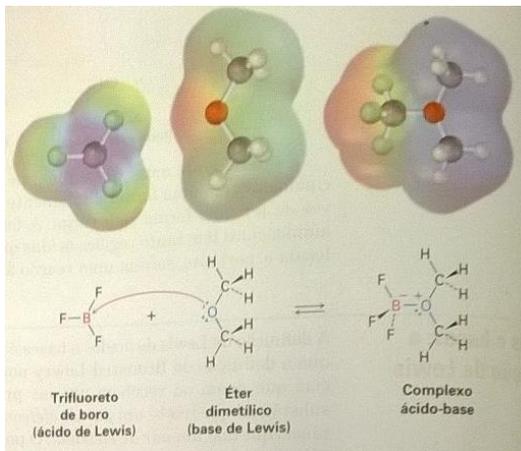
Fonte: McMurry (2011)

Considerando que a definição de ácido segundo Lewis inclui muitas outras espécies químicas além do H^+ a ser doado em uma reação, o Mg^{2+} é considerado um cátion metálico. Como pode-se constatar, ao receber um par de elétrons da base - íon organodifosfato - o ácido, ao formar uma ligação com a base, origina um complexo ácido-base. Os signos que compõem as representações das entidades químicas dessa reação são as letras, representando os elementos químicos específicos, sinais matemáticos e numeração sobrescrita para simbolizar as cargas eletrônicas, os bastões, as cunhas e o tracejado, para representarem as ligações químicas. Note-se que o grau de iconicidade aumenta com a sequência em que os signos foram expostos. E dentre eles, os signos que trazem mais qualidades à molécula que representam são os tracejados - presentes entre o Mg^{2+} e os dois oxigênios no complexo ácido-base - e as cunhas enquanto representações das ligações químicas. Ainda destacamos a cor rosa para representar o Mg^{2+} , mesma cor utilizada para representar o H^+ . Tal fato justamente ocorre pela intenção em representar que outras entidades químicas podem ser consideradas ácido de Lewis, pelo fato de terem a capacidade de receber par de elétrons. McMurry (2011) especifica, em sua obra, que a capacidade de recebimento é oriunda da existência de um orbital vazio por parte do átomo em questão. Porém, como visto, as representações utilizadas não

contemplam os objetos que envolvem esse pressuposto. Por exemplo, a própria ausência de um signo que corresponda ao orbital vazio do ácido, ou mesmo na representação do tipo letra/bastão, em que o autor não trouxe a representação dos pares de elétrons. Representação esta de extrema significância, uma vez que os pares embasam a teoria de Lewis.

Trazendo outro exemplo de ácido de Lewis, e também justificando a capacidade de receber elétrons devido à existência de um orbital vazio em um átomo da molécula, McMurry (2011) apresentou a reação entre o trifluoreto de boro e éter etílico (figura 86).

Figura 86 Reação entre o trifluoreto de boro e éter etílico.



Fonte: McMurry (2011)

Semelhante ao processo representacional contido na figura 86, encontramos a utilização de M.P.E. como representações complementares às representações do tipo letra/bastão, dispostas na reação em questão. Como podemos observar, novamente são articuladas representações baseadas em modelos clássicos e quânticos sem maiores explicações. E neste caso, o autor ainda faz referência a um conceito quântico utilizando-se da representação letra/bastão e uma seta curva, ao afirmar:

Olhe atentamente a reação ácido-base na Figura 2.5 e observe como ela está mostrada. O éter dimetilico, a base de Lewis, doa um par de

elétrons para um orbital de valência vazio do átomo do boro BF_3 , um ácido de Lewis. O sentido do fluxo do par de elétrons da base até o ácido é mostrado com setas curvas (McMURRY, 2011, p.54).

Quando o autor se refere ao orbital de valência vazio e solicita para o intérprete observar a indicação do mesmo pela seta curva, o que se vê é a representação do boro por meio de uma letra, e não um signo específico que representa o orbital vazio. O que se pode compreender dessa relação representacional? Poderíamos interpretar que todas as letras, ao representarem os elementos químicos, também trazem em si a representação dos orbitais vazios, ou ainda que todos os átomos representados por letras trazem em si orbitais vazios. Assim, além da falta de explicação sobre o que e como apreender a representação, se repete o trânsito entre modelos clássicos e quânticos sem qualquer problematização. Ou seja, o lança-se mão de vários modelos de modo a chegar na explicação mais “conveniente”. A única convenção sobre as representações feita pelo autor é em relação à seta curva, que semelhante à realizada pelos autores Solomons e Fryhle (2005), convencionou-se que “um par de elétrons se move do átomo indicado pelo rabo da seta para um átomo situado na ponta da seta” (McMURRY, 2011, p. 54).

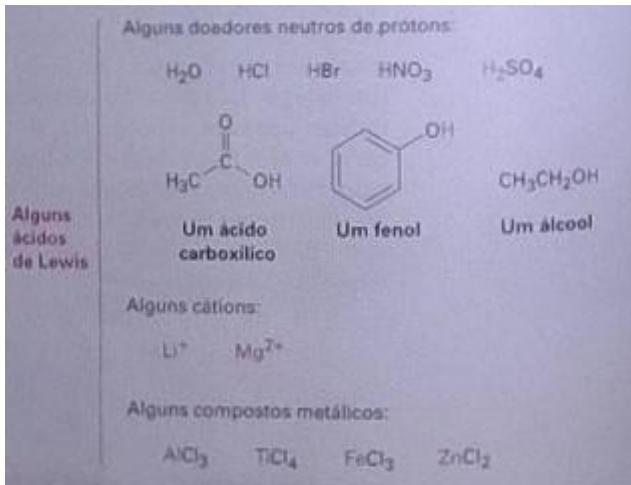
Sobre os diferentes signos que compõem as representações moleculares da figura 86, temos dois tipos presentes. Um referente aos M.P.E. justapostos às bola/bastão, que como já discutido e justificado em outros momentos, por meio de diferentes cores, enquanto signos majoritariamente icônicos, contribuem para a representação da distribuição espacial das densidades eletrônicas. Outro tipo é relativo às representações do tipo letra/bastão, em que os signos icônicos e simbólicos possibilitam a especificação dos elementos que constituem uma determinada molécula, e fornece dimensões sobre a espacialidade da mesma.

Note-se que semelhantemente ao recurso representacional utilizado por Solomons e Fryhle (2005), McMurry (2011) insere as cunhas preenchidas e tracejadas para se aproximar da real geometria da molécula. Como já pontuado, esses elementos sígnicos, ao se comprometerem com a tridimensionalidade, agregam informações que nos possibilitam saber mais qualidades sobre a molécula em questão, elevando conseqüentemente o grau de iconicidade da representação. Ainda sobre o segundo tipo de representação, os sinais de soma e

subtração nos informam sobre as cargas pertencentes ao oxigênio e ao boro, respectivamente.

Ainda com o objetivo de apresentar outras possibilidades de ácidos de Lewis, McMurry (2011) apresenta os exemplos contidos na figura 87.

Figura 87 Exemplos de ácidos de Lewis.



Fonte: McMurry (2011)

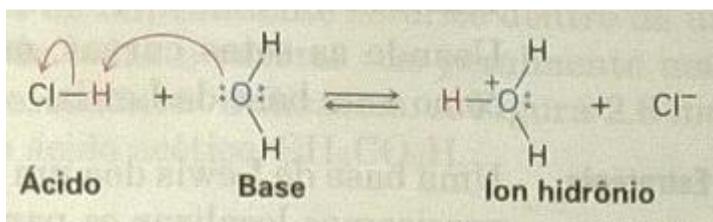
Como podemos atentar, as representações apresentadas são tanto do tipo letra/bastão, quanto letra/letra. As letras utilizadas enquanto signos que representam os elementos que remetem aos ácidos de Lewis novamente se apresentam pela cor vermelha, fazendo referência ao hidrogênio ácido que é doado em uma reação ácido-base segundo Brønsted-Lowry. Note-se que o caráter majoritariamente simbólico, devido à utilização das letras, não possibilita a representação das qualidades que levam determinado composto ou cátion a ser considerado um ácido segundo Lewis.

Destacamos, porém, que esse conjunto de representações, mesmo que vise apresentar alguns ácidos de Lewis, destaca nas primeiras representações os prótons, característica típica do modelo de Brønsted-Lowry. Note-se que ela faz uso de uma ideia essencial desse último, "doar prótons", o que, por sua vez, leva a caracterizá-los como ácidos de Brønsted. No entanto, na molécula o H é um possível ácido de Lewis,

enquanto que o H^+ é um ácido de Lewis. Esse último se comporta justamente de maneira oposta ao modelo de Brønsted, no sentido de que ela recebe algo – os elétrons, no caso. Ou seja, sugere, através da representação, uma concepção equivocada de um ácido de Lewis, algo que doa, quando na verdade esse recebe.

Em relação à comunicação dos conceitos sobre bases segundo Lewis, ao pontuar que tal definição é semelhante à de Brønsted-Lowry, McMurry (2011) utiliza as seguintes representações:

Figura 88 Reação ácido-base.

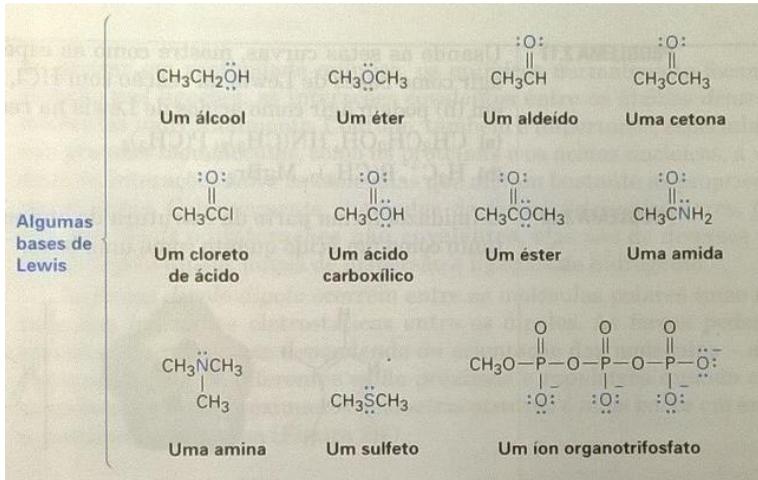


Fonte: McMurry (2011)

Observa-se que as representações moleculares são apresentadas dentro de um contexto de reação ácido-base, semelhante às utilizadas para comunicar sobre o ácido de Lewis. Como também já pontuado, o fato de não ser dado destaque para a comunicação sobre a base de Lewis, ocorre pelo fato dos conceitos ácido e base estarem atrelados, e muitas vezes os conceitos de bases acabam já sendo discutidos com o primeiro. Neste caso, a doação do par de elétrons é representada pela seta curva. E semelhante à cor utilizada para destacar os elementos capazes de doar o par, o oxigênio e seus elétrons desemparelhados são representados pela cor azul. Note-se, ainda, que a utilização de bastões auxiliou na visualidade dos movimentos eletrônicos que ocorrem no processo de rompimento e formação de ligações entre o ácido e base.

Semelhante ao realizado com os ácidos, McMurry (2011) apresenta alguns exemplos de bases segundo Lewis por meio da figura 89.

Figura 89 Exemplos de bases de Lewis.



Fonte: McMurry (2011)

Podemos visualizar que tanto as representações moleculares do tipo letra/letra, quanto as do tipo letra/bastão, destacam o átomo doador de elétrons, bem como os elétrons deste, na molécula. Como em outros exemplos, o destaque do elemento químico doador é realizado pelo signo da cor azul. Já os pares de elétrons, pelos signos referentes aos dois pontos.

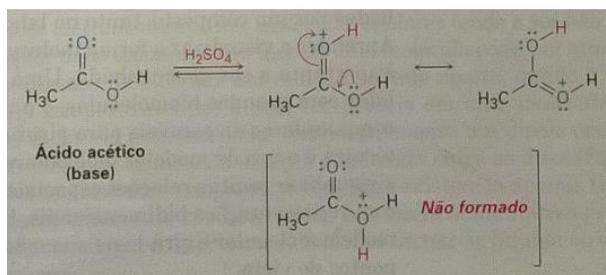
Em relação à cor, poderíamos conceber a mesma apenas com a função de dar destaque a determinado elemento, porém, como vimos, o autor da obra assume desde o início a utilização das cores rosa para os elementos que fazem referência ao ácido, e o azul para a base. Assim, uma vez que a cor é uma convenção, e mesmo ela apresentando um forte caráter simbólico, seu caráter indexical se destaca devido ao fato das diferentes cores fazerem referência às qualidades de acidez ou basicidade das substâncias. A convenção das cores associadas ao caráter ácido ou básico surgiu nas representações utilizadas na comunicação da teoria de Brønsted-Lowry, na qual a escrita das palavras ácido e base foi feita nas cores rosas e azul, respectivamente.

Sobre a presença dos dois pontos, enquanto representações dos pares eletrônicos, é condizente com o modelo da teoria de Lewis, ao passo que a mesma tem como seu centro teórico a capacidade de

determinada substância doar elétrons. Por este fato que a presença dos signos dois pontos (:), dentro do contexto do modelo teórico de Lewis, ao passo que comunica sobre qualidades de tal teoria, eleva o caráter icônico da mesma. Coisa que a utilização de tais pares em um modelo de Brønsted-Lowry, não cumpria a função de elevar o grau de iconicidade, uma vez que a teoria não traz em si esses signos.

Ao destacar a possibilidade das bases reagirem em mais de um local, o autor chama a atenção do leitor para algumas representações de compostos, presentes na reação do ácido acético com o ácido sulfúrico, que apresenta mais de um elemento capaz de aceitar um par de elétrons (figura 90)

Figura 90 Exemplos de algumas representações de compostos presentes na reação do ácido acético com o ácido sulfúrico.



Fonte: McMurry (2011)

Partindo do objeto que se pretende comunicar, encontramos novamente a utilização das cores rosa e azul associadas aos caracteres básico e ácido, por meio das letras que se referem aos elementos das moléculas que recebem e doam os pares de elétrons. Porém, a intenção em representar os dois lugares de possíveis reações não foi efetiva, ao passo que destaca-se apenas os oxigênios na cor azul, ou seja, se destaca apenas um dos possíveis locais.

Ademais, notamos a figura 90 composta de representações tanto do tipo letra/letra quanto letra/bastão, dentro de um mecanismo reacional subentendido, uma vez que até então reações entre ácidos e bases eram representadas pelo sinal de somatória entre os reagentes, e no caso da reação em questão, o ácido – ácido sulfúrico no caso – é representado acima das setas de equilíbrio entre os reagentes e produtos. Ainda, as setas curvas são utilizadas a fim de representarem os fluxos

dos elétrons dentro dos produtos formados. Também utilizados nas representações moleculares dos produtos, são os sinais de soma, ao representarem as cargas geradas pela doação do par de elétrons pela base.

Após analisarmos as quatro obras, podemos apontar que as articulações sígnicas realizadas na comunicação dos saberes relativos ao modelo ácido-base de Lewis, ficaram próximas ao modo que foi comunicado o modelo de Brønsted-Lowry, tanto em relação à variedade dos tipos de representações, signos complementares, signos extras, quanto em relação ao fato de apresentarem tais conhecimentos majoritariamente em contexto reacional. Destacamos apenas a mudança ocorrida na forma de representar o H do átomo de hidrogênio, na primeira utilizou-se o retângulo em azul para destacar tal letra, e na de Lewis, utilizou-se os signos de pares de elétrons a fim de representar a capacidade de um átomo, pertencente à base, doar o par de elétrons. Este último fato aponta para a compreensão da existência de uma escolha sobre os signos que se utiliza ou não na hora de comunicar determinado conhecimento. Visto que se tratam de livros-texto comumente utilizados na *introdução* aos modelos de ácidos e bases, esse ponto torna-se extremamente relevante na formação dos estudantes em relação à essa área do conhecimento científico. Pois, exatamente por ser tratar de contatos ainda iniciais, é imprescindível que as características que mais definem cada modelo, em relação aos demais, sejam ressaltadas (dado que, inevitavelmente, várias seleções e exclusões no conteúdo mais amplo precisam ser realizadas) e que sejam fornecidos elementos imagéticos que forneçam o máximo de representações possíveis dos pressupostos dos modelos que se deseja abordar.

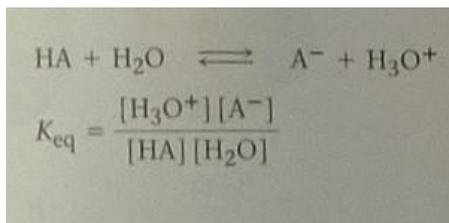
III) Representações moleculares na comunicação dos conhecimentos relativos às forças ácidas e básicas

- Efeito da capacidade de ionização nas forças ácidas e básicas

McMurry (2011, p.47), ao discutir as forças ácidas dentro dos conceitos de constante ionização, a fim de dimensionar as forças ácidas com bases em valores de pK_a , uma vez que compreende que “um ácido forte (K_a grande) tem um pK_a pequeno, enquanto um ácido fraco (K_a pequeno) tem pK_a grande”, inicia a sua abordagem sobre forças de ácidos e bases utilizando-se de representações moleculares do tipo letra/letra, em uma reação ácido-base em que os produtos são

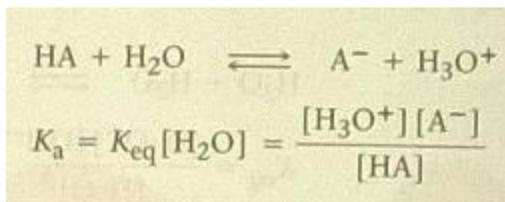
acompanhados por sinais de soma e de subtração (+/-) para representar as cargas de cada um. Novamente encontramos a utilização de uma letra genérica para representar a entidade ou as entidades que formam a base conjugada. E, acompanhando a representação da reação, tem-se equações matemáticas a fim de calcular a constante de equilíbrio (figura 91) e a constante ácida (figura 92), e por meio delas, obter o valor de pK_a de diferentes compostos.

Figura 91 Equação para calcular a constante de equilíbrio.



Fonte: McMurry (2011)

Figura 92 Equação para calcular a constante ácida.



Fonte: McMurry (2011)

Como observamos, as representações de caráter majoritariamente simbólico, como o caso das representações do tipo letra/letra, possibilitam, com o auxílio dos signos matemáticos, representar as cargas oriundas da ionização do ácido em água, e ainda especificar as entidades químicas em uma equação matemática.

Vista a intenção de obter valores de pK_a partindo-se dos cálculos de constante ácida, e a fim de se obter informações sobre a acidez de diferentes substâncias, semelhante à obra de Solomons e Fryhle (2005), McMurry (2011) traz uma tabela com alguns ácidos organizados em uma escala crescente de acidez. Estes por sua vez, são representados por

letra/letra, trazendo, assim, um alto caráter simbólico. E novamente a cor dos hidrogênios, ao constituir a letra que representa o próton que será doado, fornece o caráter mais icônico à molécula, quando comparada às representações da tabela utilizada por Solomons e Fryhle (2005).

Figura 93 Tabela com relações de forças de ácidos e suas bases conjugadas.

Ácido	Nome	pK_a	Base conjugada	Nome
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	Etanol	16,00	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^-$	Íon etóxico
H_2O	Água	15,74	HO^-	Íon hidróxido
HCN	Ácido cianídrico	9,31	CN^-	Íon cianeto
H_2PO_4^-	Íon dihidrogenofosfato	7,21	HPO_4^{2-}	Íon hidrogenofosfato
$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$	Ácido acético	4,76	CH_3CO_2^-	Íon acetato
H_2PO_4	Ácido fosfórico	2,16	H_2PO_4^-	Íon dihidrogenofosfato
HNO_3	Ácido nítrico	-1,3	NO_3^-	Íon nitrato
HCl	Ácido fluorídrico	-7,0	Cl^-	Ácido clorídrico

À esquerda da tabela, uma seta vertical colorida (de azul no topo a vermelho na base) indica a força dos ácidos, com o rótulo "Ácido mais fraco" no topo e "Ácido mais forte" na base. À direita, uma seta vertical colorida (de vermelho no topo a azul na base) indica a força das bases, com o rótulo "Base mais forte" no topo e "Base mais fraca" na base.

Fonte: McMurry (2011)

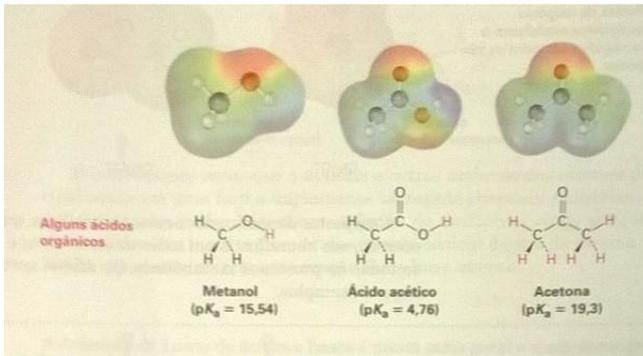
Note-se que as cores das setas se referem às relações estabelecidas entre os caracteres ácido ou básico dos compostos, estabelecidos pelo autor por meio da utilização da cor da escrita de tais caracteres e os elementos que representam os mesmos nos compostos – como o caso do hidrogênio vermelho e o elemento portador de pares de elétrons a serem doados. Assim, para comunicar as forças ácidas e básicas com base em valores de pK_a , compreendemos a presença de diferentes signos na tabela construída (figura 93), além das representações moleculares que auxiliam na comparação de diferentes compostos em relação de força ácida. Isto por meio da associação de identificação do composto utilizando-se de representação letra/letra ou escrita, valor de pK_a , e escala de força mediada pelo uso de setas coloridas.

- Justificando força ácida e básica por meio da estrutura molecular e dos efeitos de ressonância

Diferentemente das obras dos autores Solomons e Fryhle (2005) e Bruice (2006), em que os saberes relativos à influência da estrutura molecular e do efeito de ressonância foram apresentados separadamente, o autor desta obra agora analisada discute esses olhares sobre as forças ácidas de uma substância de maneira integrada. Devido a este fato, apresentamos, então, as articulações entre tais características – eletronegatividade dos elementos que constituem determinada molécula e a presença de efeito de ressonância – conjuntamente neste tópico.

McMurry (2011) utilizou as representações das moléculas de metanol, ácido acético e a acetona contidas na figura 94 a fim de apresentar os dois tipos de ácidos orgânicos existentes, sendo um o ácido que contém o átomo de hidrogênio ligado a um átomo de oxigênio eletronegativo – como no caso das duas primeiras moléculas – e o outro tipo são aqueles que contém um átomo de hidrogênio ligado a um átomo de carbono próximo de uma ligação dupla entre um carbono e um oxigênio – como no caso da acetona. Bem como trazer para a discussão, por meio desses exemplos, as influências da estrutura molecular, ou seja, as influências oriundas dos tipos de elementos que compõem a molécula, e também os efeitos gerados por possíveis situações de ressonância na molécula. Assim, partindo da generalização de que “os ácidos orgânicos são caracterizados pela presença do átomo de hidrogênio polarizado positivamente (regiões azuis nos mapas de potencial eletrostático)” (McMURRY, 2011, p. 50), as representações utilizadas para representar essas moléculas se apresentam na figura 94.

Figura 94 Diferentes representações moleculares acompanhadas de seus valores de pK_a .



Fonte: McMurry (2011)

Como podemos constatar na figura 94, os ácidos em questão foram representados por meio das representações do tipo M.P.E. justapostas ao tipo bola/bastão, e pelas representações do tipo letra/bastão, em que se utilizam tanto de bastões utilizando as cunhas preenchidas e bastões tracejados para comunicar de maneira mais qualitativa a espacialidade das moléculas. Note-se que as representações não se encontram dispostas em um mecanismo representacional, nem em tabelas ou escalas, e muito menos dentro de expressões matemáticas. Neste caso as representações são apresentadas a fim de exemplificar o caráter ácido de uma molécula, e justificar tal caráter em relação à estrutura da mesma e aos possíveis efeitos de ressonância.

Seguindo as representações moleculares da figura 94, o autor coloca, em relação à molécula de metanol e à do ácido acético que ambas possuem características ácidas pouco fortes, uma vez que apresentam ligação entre o oxigênio e o hidrogênio, ligação essa que resulta do fato da base conjugada oriunda da perda de um íon H^+ ser estabilizada por ter sua carga negativa em um átomo de oxigênio fortemente eletronegativo, e no caso da base conjugada do ácido acético, esse caráter ácido também é devido ao efeito de ressonância.

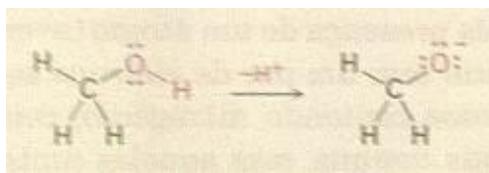
Por meio dos ícones em cores que constituem os M.P.E. pode observar as diferenças de polaridade entre os átomos de cada molécula, em especial a diferença entre as polaridades do oxigênio e hidrogênio, representadas respectivamente pelas cores vermelha e azul. Ainda tem-se as representações do tipo letra/bastão que articuladas com as representações bola/bastão, auxiliam na interpretação das informações

comunicadas pelos M.P.E., uma vez que relacionam as diferentes regiões do mapa aos elementos químicos que constituem a molécula. De um lado destacamos a contribuição de diferentes signos para a comunicação de determinadas informações, porém pontuamos a ausência das representações dos pares eletrônicos dos oxigênios por meio dos signos dos dois pontos (:). Estes signos são de extrema importância, visto que por meio deles são representadas informações sobre o caráter eletrônico do átomo, e conseqüentemente as implicações desse caráter em toda molécula – como no caso das implicações para as forças ácidas e básicas.

Uma vez que as representações da figura 94 não contemplam a representação da base conjugada do metanol ser estabilizada por ter sua carga negativa em um átomo de oxigênio fortemente eletronegativo, ou estabilização do ânion por apresentar a carga negativa em um átomo eletronegativo, e/ou ainda representar o efeito gerado pela presença de ressonância na molécula, McMurry (2011) complementa as representações apresentadas na figura 94 por meio das representações contidas nas figuras 95 e 96.

Referente a molécula de metanol, temos a utilização das representações do tipo letra/bastão a fim de mostrar a alta densidade de carga formada no oxigênio da base conjugada da molécula em questão (figura 95).

Figura 95 Representações do tipo letra/bastão a fim de mostrar a alta densidade de carga formada no oxigênio da base conjugada.



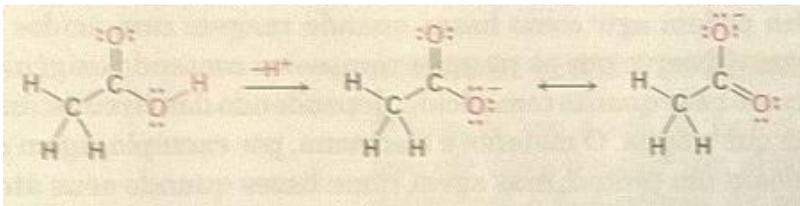
Fonte: McMurry (2011)

Neste caso, a alta densidade é representada pelos signos icônicos referentes aos pares de elétrons não ligantes do oxigênio, e a saída do próton é representada pelo H^+ acompanhado da ligação, representada pelo bastão, que existia entre ele e o oxigênio. Como já visto, o fato dos pares de elétrons agregarem informações sobre as qualidades do objeto em questão torna a representação mais icônica. Porém, devido aos demais signos utilizados para representar os outros elementos da

molécula se limitarem ao caráter simbólico, não trazem informações sobre as densidades de cargas na região ocupada por cada par. Tal escolha pode ser justificada pelo fato do foco da discussão ser a alta concentração de carga no átomo em específico.

Em relação ao ácido acético, tanto pelo fato da existência de uma carga negativa em um átomo altamente eletronegativo, quanto pelo efeito de ressonância que surge, o ânion oriundo do ácido em questão é estabilizado (figura 96).

Figura 96 Efeito de ressonância de um composto.



Fonte: McMurry (2011)

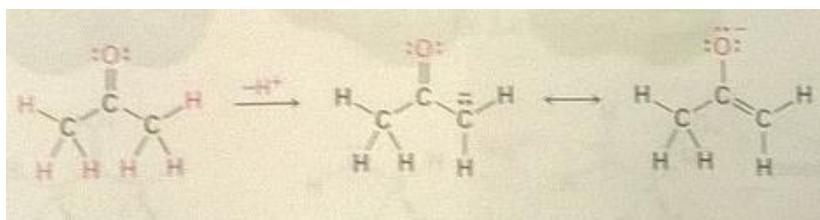
Encontramos na figura 96 as representações do tipo letra/bastão, que apresentam seus átomos por meio de signos simbólicos, e trazem um caráter icônico ao representarem a disposição dos mesmos na estrutura molecular, por meio dos bastões. Também majoritariamente simbólico, o sinal de subtração (-) é utilizado enquanto signo para representar a alta densidade de carga formada no oxigênio da base conjugada, após a saída do próton. E, novamente, o caráter icônico se faz presente nos signos referentes aos dois pontos (:).

Em relação ao efeito de ressonância, considerando que a eletronegatividade dos dois átomos de oxigênio tende a influenciar as propriedades do hidrogênio do grupo -OH, ao passo que eleva-se a sua polarização e facilita a perda do próton, a carga negativa restante é distribuída igualmente entre ambos átomos de oxigênio, fornecendo as duas ligações C-O, características de dupla ligação parcial, ao passo que as mesmas são deslocalizadas. Uma vez que os signos utilizados pelo autor não possibilitam que se represente o caráter de deslocalização de cargas, sendo que tem como base a dinamicidade das formações parciais de ligações entre os oxigênios e o carbono, o mesmo utiliza-se de duas representações, semelhantes, mas não iguais, para o ânion carboxilato, uma vez que a localização da ligação dupla C=O torna-as diferentes ao

serem deslocadas as cargas entre diferentes oxigênios. Nota-se que o oxigênio do ânion carboxilato, ao apresentar apenas uma ligação, traz ao seu redor três pares de pontos (:) e o sinal de subtração, a fim de representar os dois pares não emparelhados do oxigênio, mas o par deixado pelo hidrogênio.

Semelhantes recursos representacionais estão presentes na figura 97, a fim de comunicar que a “acidez da acetona e de outros compostos com ligações C=O deve-se ao fato de a base conjugada resultante da perda de H⁺ ser estabilizada por ressonância. Além disso, uma das formas de ressonância estabiliza a carga negativa colocando-a em um átomo de oxigênio eletronegativo”. (McMURRY, 2011, p. 51).

Figura 97 Efeito de ressonância de um composto.



Fonte: McMurry (2011)

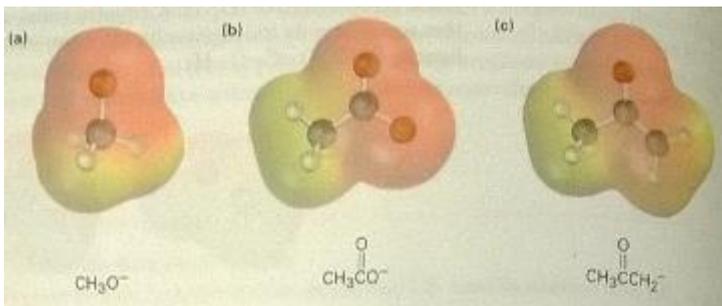
Novamente temos as letras enquanto signos simbólicos representando os átomos, e os sinais de subtração (-), também simbólicos, acompanhando o par de elétrons desemparelhado. Já os ícones se referem aos bastões enquanto as ligações químicas, e os dois pontos (:) enquanto os pares de elétrons. No caso da acetona, a deslocalização das cargas ocorre entre o oxigênio e o carbono, ligado ao carbono que forma a ligação com o oxigênio. Observe-se que o par de elétrons oriundos da saída do próton primeiramente aparece acomodado no carbono. Tais signos são constituídos por dois pontos na horizontal (..) acompanhados do signo referente ao sinal de subtração (-) especificando a origem do par de elétron e ambos na cor preta. Note-se, porém, que este par de elétrons, quando alocado no oxigênio assume a cor vermelha. Esse fato poderia ocasionar a interpretação de que o par de elétrons é outro, podendo até estimular a ideia de que as representações em ressonância são dois compostos.

Destacamos, ainda, que a padronização das cores adotadas pelo autor em representar o oxigênio de vermelho e os hidrogênios de azul se

perderam ao longo das representações, exemplo foi essa última sequência de representações sobre as reações do metanol, ácido acético e acetona.

Ao final, McMurry (2011, p. 52) apresenta os M.P.E. das bases conjugadas originadas dos compostos em questão, apresentando-as apontando que “Como esperado, em todos os mapas existe uma quantidade enorme de carga negativa (em vermelho) sobre o átomo de oxigênio”.

Figura 98 M.P.E. de bases conjugadas originadas dos compostos.



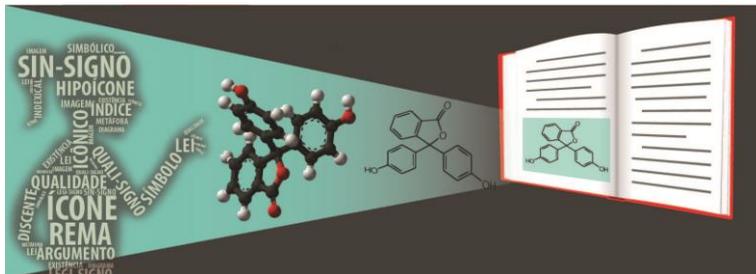
Fonte: McMurry (2011)

Assim, as representações são utilizadas para possibilitar ao intérprete a visualização das cargas negativas localizadas nos átomos de oxigênio, por serem mais eletronegativos, bem como a carga negativa localizada na região na qual a ressonância ocorre entre o oxigênio e o carbono da base conjugada da acetona. Nota-se que o caráter icônico das cores, que constituem os M.P.E., possibilita caracterizar a polaridade das moléculas em questão. Por exemplo, na figura 98 vemos a disposição das cores amarela e vermelha, e “podemos” interpretar que existem diferenças de cargas nas moléculas, mas tais polaridades não são tão extremas, ao passo que não apresentam uma região de baixa carga negativa, como é o caso das representações das densidades pela cor azul. Digo “podemos” pois como já pontuado, as representações moleculares, como tantas outros signos e conjuntos de signos que compõem a linguagem da química requer que o interprete seja capaz de decodificar os mesmos. Ou seja, é necessário que este interprete, que no caso é o estudante de química, seja formado à tal capacidade. Tanto pelos seus professores, quanto pelos materiais educacionais que permeiam a formação destes estudantes. No caso dos livros-texto aqui analisados,

enquanto um dos principais materiais educacionais presente na formação de um químico, constatou-se que os diferentes signos e representações utilizadas nem sempre estavam acompanhados por explicações, mesmo que sucintas e breves, sobre as formas de ler e interpretar tais signos, ou seja, os autores trataram a compreensão da linguagem imagética da química como se ocorresse de maneira automática e natural. Como foi o caso das representações dos M.P.E. justapostos às bola/bastão, que sem maiores indicações de como interpretar os mesmos, possibilitando até interpretações que não condizem com nenhuma interpretação de matéria aceita: como o caso de poder entender a existência de uma ligação entre núcleos de átomos por meio das bola/bastão, e nessa situação, imaginaria que a distribuição eletrônica dos mapas seriam as nuvens de elétrons de tais núcleos. Ainda tem-se o fator de unir duas representações que apresentam seus fundamentos teóricos em duas concepções divergentes de matéria, agravando ainda mais quando se tem a ausência de explicações sobre o modo que deve-se interpretar determinada informação mediada por representações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Figura 99 Comunicação de conhecimentos químicos por meio de livro-texto.



Fonte: acervo pessoal da autora

“... analisar semioticamente significa empreender em um diálogo de signos, no qual nós mesmos somos signos que respondem a signos.”
(SANTAELLA, 2002)

Depois de expostas e analisadas as representações encontradas nos livros-texto selecionados, nesse capítulo final apresentaremos algumas considerações acerca do que foi visto e, a título de fechamento, encaminhamos nossas reflexões e apontamentos em relação aos questionamentos que impulsionaram a presente pesquisa.

Como visto, ao investigarmos as articulações envolvidas no processo de comunicação de conhecimentos sobre ácidos e bases, por meio de representações moleculares, identificamos que tais representações são constituídas de diferentes signos, tanto na primeira quanto na segunda tricotomia peirceana, ou seja, tanto em relação ao fundamento do signo, quanto na relação do signo com o objeto. Neste contexto, e considerando que as formas de representar e comunicar os conhecimentos químicos manipulam diversas características físicas macroscópicas, por meio de diferentes tipos de signos (como cores, formas, tamanhos, entre outros), na tentativa de representar os fenômenos que permeiam o mundo submicroscópico, nesta pesquisa, procurou-se evidenciar algumas das inúmeras contribuições dos conhecimentos da semiótica para a construção dos conhecimentos químicos, em especial na comunicação dos conhecimentos de ácidos e bases na química orgânica. Buscando contribuir em recentes esforços de

articulação e aproximação entre a pesquisa em ensino de química e contributos da teoria semiótica.

Considerando a significativa presença das representações moleculares nos livros-texto analisados, bem como o modo que estas foram utilizadas pelos autores, a teoria semiótica contribuiu em nossas reflexões acerca de como ocorre o processo de comunicação por meio das inúmeras representações presentes na linguagem da química orgânica, podendo auxiliar, por exemplo, na discussão da diferença entre *representação* e *objeto*, evitando assim que o sujeito tome uma representação molecular como a própria molécula. E ainda, dentre outras possibilidades, pode contribuir em um aprofundamento nos conhecimentos sobre as diferentes naturezas dos signos, compreendendo que um mesmo signo pode representar objetos diferentes, como também, um mesmo objeto pode ser representado por diferentes signos, como o caso dos signos relacionados as cores: mesmo sendo aparentemente um mesmo tipo de signo, as cores também apresentam naturezas sgnicas diferentes, como visto nas análises, as cores azul e vermelho são utilizadas em diferentes contextos, tanto para representar as regiões de alta e baixa densidade eletrônicas enquanto signos icônicos, quanto para indicar o caráter ácido ou básico de uma molécula - ao se distinguir o oxigênio ou o hidrogênio por meio das cores vermelha e azul, respectivamente.

Ao levar os conhecimentos da teoria semiótica para o ensino de química, possibilita-se que coloque em discussão a própria construção dos conhecimentos químicos, possibilita-se que se compreenda o mundo submicroscópico, por meio de signos pertencentes ao mundo macroscópico, auxiliando assim, o sujeito a transitar nestes diferentes mundos da química – macro e submicroscópico. Neste contexto, as representações moleculares desfrutam da capacidade de contribuir nessa mediação, fornecendo referências visuais aos sujeitos, possibilitando associações e ilustrações dos fenômenos desejados de imprescindível validade para a prática pedagógica e as dimensões que a envolvem. Sustentamos, nesse sentido, a pertinência das reflexões aqui propostas como contributo no enfrentamento de desafios relevantes no contexto de ensino-aprendizagem em química, como por exemplo, das concepções alternativas apontadas por Callone e Torres (2013) e Torres *et al.*(2009), que mostramos no primeiro capítulo. Destacamos aqui especificamente a de *origem*

ontológica que, segundo a autora, está relacionada ao fato dos estudantes categorizarem os ácidos em nível submicroscópico como objetos e não como sistemas de interação.

Não obstante, no contexto da pesquisa, vimos que os distintos signos utilizados pelos livros-texto nem sempre estavam acompanhados por explicações, mesmo que sucintas e breves, acerca das formas de ler e interpretar tais signos, como se sua compreensão fosse automática e natural. Tal fato é agravado quando em relação às representações moleculares, pois como pontuado por Hoffmann e Laszlo (1991 apud WU e SHAH, 2004), as representações químicas são construções conceituais e, portanto, transmitem conhecimentos conceituais que desencadeiam a possibilidade da comunicação de erros conceituais em relação aos modelos e as teorias envolvidas. Isso só reforça o fato de que as inúmeras formas de linguagem – dentre elas, a imagética – não estão “dadas”, necessitando de um direcionamento adequado por parte do algo que a comunica, e por parte dos sujeitos, em relação ao como ler e se apropriar dos significados trazidos pelas mesmas. Assim, destaca-se uma das importantes contribuições da aproximação teórica aqui proposta: propor uma relativização, um repensar acerca das diferentes linguagens que permeiam os processos de ensino e aprendizagem no contexto da química, em especial da química orgânica. Assim, apontamos para a necessidade de maiores e permanentes aprofundamentos nas reflexões sobre tais perspectivas, no intuito de buscar e construir relações menos ingênuas com os fenômenos da linguagem que perpassam as práticas docentes, com toda sua complexidade.

Conseqüentemente, é nesse contexto que se destaca a figura e a importância do professor. Nesse sentido, no âmbito dessa pesquisa, evidencia-se a necessidade do professor elucidar em suas aulas o importante papel das representações moleculares na linguagem da química orgânica. Deixar claro para seus estudantes que semelhante a linguagem textual, sua compreensão não é automática e meramente parafrástica, precisando assim ser decodificada, ser lida, compreendida pelo sujeito. Dentro do processo de ensino de química, é de extrema importância o professor saber escolher quais representações utilizar nos diferentes contextos conceituais e comunicacionais, bem como orientar seus estudantes de como apreender as inúmeras representações presentes no cotidiano de um químico, seja nas representações construídas em lousas ou cadernos, seja nas representações presentes nos livros utilizados como base na formação inicial.

Não desejamos com tais apontamentos, agravar a já notável sobrecarga e alienação dos docentes em relação às suas práticas – principalmente em se tratando de educação básica – defendendo a necessidade de que todos saibam, além de todo arcabouço de conteúdo de sua área, profundamente complexas teorias, como é o caso da semiótica. O que ressaltamos, é a pertinência e as possíveis contribuições de tal aproximação, que necessariamente deve estar ancorada em uma formação docente sólida e sensível quanto às inúmeras problemáticas e complexidades que envolvem a prática docente. Tal formação deve ser concebida em relação à formação inicial e, assim, aos contextos das licenciaturas, onde inclusive ocorre o contato com livros-texto da espécie dos aqui analisados; mas também em relação à formação continuada ou permanente, acreditando que, o fenômeno educacional, por sua própria complexidade, não pode ser devidamente apreendido apenas no espaço-tempo de um curso de graduação, mas deve ocorrer paralelo à prática cotidiana com os sujeitos que estão lidando com os objetos do conhecimento. O que aponta diretamente para a emergente reestruturação e valorização da profissão docente, que está diretamente atrelada às políticas públicas referentes ao ensino e à superação de seu atual estágio de estrangulamento da autonomia necessária à prática docente.

À título de fechamento, esperamos que este trabalho tenha contribuído na elucidação das formas como as representações moleculares são apropriadas pelos livros-texto e incitadas a mediar a comunicação dos modelos de ácidos bases, suas principais potencialidades para o contexto da formação inicial em química, bem como limitações e problemáticas que, naturalmente, envolvem esses tipos de saberes. Contamos ainda, que nossas discussões e compreensões possam contribuir para os diálogos que vêm emergindo entre o ensino de química e a teoria semiótica.

REFERÊNCIAS

ABBAGNANO, N. **Dicionário de filosofia**. 5 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

AINSWORTH, S. The functions of multiple representations. **Computers & Education**, Nottingham, v. 33, p. 131-152, 1999. Disponível em: <http://www.compassproject.net/sadhana/teaching/readings/ainsworth.pdf>
Acesso em: 19 agosto, 2014.

ARAUJO NETO, W. N. **Formas de uso da noção de representação estrutural no ensino superior de química**. 2009. 228 f. Tese de Doutorado em educação) Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2009.

ASPEITIA, A. A. B. Words and Images in Argumentation. **Argumentation**, México, n. 26, p. 355–368, 2011.

BIZZO, N. M. V. **Ensino de evolução e história do darwinismo**. 1991. 312f. Tese Doutorado (em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

BODNER, G. M.; BRIGGS, M. W. **A Model of Molecular Visualization**. In: GILBERT, J. K. Visualization in Science Education. Springer: Ed. Dordrecht, 2005, pp. 90-105.

BRUICE, P. Y. **Química orgânica**. 4 ed.; v.1. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

CARDOSO, A.; MOURA, J. A. S. A realidade virtual como uma ferramenta para o ensino da geometria molecular. **Revista Ceciliana**, Uberlândia-MG, n. 29, p 115-122, 2008.

CHAGAS, A. P. O ensino de aspectos históricos e filosóficos da Química e as teorias ácido-base do século XX. **Química nova**. São Paulo, v. 23, n. 1, p.126-133, 2000. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n1/2156.pdf>> Acesso em 05 fev. 2013.

_____. Teorias ácido-base no século XX. **Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 9, p. 28-30, 1999. Disponível em <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc09/historia.pdf>> Acesso 20 abril 2012 .

CARVALHO, I. et al. Introdução a modelagem molecular de fármacos no curso experimental de química Farmacêutica. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 428-438, 2003.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 549-566, 2004.

CORREIA, C. M. D. C. Fundamentos da Semiótica Peirceana. **Caderno Seminal Digital**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 9, p.76-92, 2008.

DERBY, J. W. of. **Um Experimento com Pássaro na Bomba de Ar**. 1768. 1 obra de arte. Disponível em: < <http://goo.gl/CE9a>> Acesso em: 10 de dezembro de 2013.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos estudantes sobre ligações químicas. **Química nova na escola**, São Paulo, v.24, p.20-24, nov. 2006.

FERNANDEZ, C.; BALDINATO, J. O.; TIEDMANN, P. W.; BERTOTTI, M. Conceitos de química dos ingressantes nos cursos de graduação do instituto de química da Universidade de São Paulo. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, 2008.

FERREIRA, P. F. M., JUSTI, R. S. Modelagem e o fazer ciência. **Química nova na escola**, São Paulo, v. 28, p.32-36. 2008.

GIL QUÍLEZ, M. J.; MARTÍNEZ PEÑA, B. El modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio. **Enseñanza de las Ciências**, Barcelona, v. 23, n. 2, p. 153-166, 2005.

GILBERT, J. K. Visualization: A Metacognitive Skill in Science and Science Education. In: GILBERT, J. K. Visualization in Science Education, Springer: Ed. Dordrecht, 2005. pp. 9-27.

GIORDAN, M.; GÓIS, J.; TORI, R.; BIANCHINI, R.; MONTES, T.; CORREA, Y.; BERNARDES, J. Visualização de objetos moleculares: interfaces de ensino, pesquisa e extensão entre a Educação em Química e a Engenharia de Software. In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 15, 2004, Manaus: **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**, v. 1, Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2005, p. 687-689.

GOIS J.; GIORDAN M. Semiótica na química: a teoria dos signos de Peirce para compreender a representação. **Cadernos Temáticos Química Nova na Escola**, São Paulo, n.7, p. 34-42, dez. 2007.

GOODWIN, W. Explanation in Organic Chemistry. **Annals of the New York Academy of Sciences**. New York, v. 988, p. 141-153, 2003.

_____. Scientific Understanding after the Ingold Revolution in Organic Chemistry. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Oxford, n. 74, p. 386–408, 2007

_____. Scientific Understanding and Synthetic Design. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Oxford, n. 60, p. 271–301, 2009.

_____. How do Structural Formulas Embody the Theory of Organic Chemistry? **The British Journal for the Philosophy of Science**, Oxford, n. 61, p. 621–633, 2010.

GORRI, A. P.; SANTIN FILHO, O. Representação de temas científicos em pintura do século XVIII: um estudo interdisciplinar entre Química, História e Arte. **Química Nova na Escola**. v. 31, n. 3, 2009

HABRAKEN, C. L. Perceptions of chemistry: Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences, so distorted? **Journal of Science Education and Technology**, v. 5, n. 3, p.193-201, 1996. Disponível em

<http://link.springer.com/article/10.1007%2F978-1-4020-1575-3_303> Acesso em 17 de abril de 2014.

HAYWARD, R. [Sem título]. Desenho em giz pastel. Disponível em: <<http://goo.gl/YXwKfo>> Acesso em 21 set. 2014.

_____. **Reprodução de ligações de hidrogênio intramoleculares.** Disponível em: <<http://goo.gl/aC3yWl>> Acesso em: 21 set. 2014.

HEHRE, W. J.; **A Guide to Molecular Mechanics and Quantum Chemical Calculations.** Irvine: Wavefunction, Inc., 2003.

HOFFMANN, R. **O mesmo e o não mesmo.** São Paulo: Editora UNESP, 2007. 341p.

_____; LASLZO, R. Representation in chemistry. **Angewandte Chemie**, Berlin, v. 30, p. 1-16, 1991.

JORGE, A. M. G.; WARTHA, E. J. Visualização, Semiótica e Teoria da Percepção. **Triade: Revista de Comunicação, Cultura e Mídia**. v. 1, p. 149-166, 2013,

KLEIN, T. A. S.; LABURÚ, C. E. Imagem e ensino de ciências: análise de representações visuais sobre DNA e biotecnologia segundo a retórica da conotação. In: **Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências**, 7, 2009, Florianópolis. Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências, São Paulo: Abrapec, 2009.

KOBULNICK, A. **“Mentol”**, 1 pintura, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/dSj9Iv>> Acesso em: 21 set. 2014.

KOZMA, R. The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry”. In M. JACOBSON; KOZMA, R. (eds.). **Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning.** Mahwah, NJ: Erlbaum, 2000, pp. 11-46.

_____. Students collaborating with computer models and physical experiments. In: **Conference on Computer-Supported Collaborative**

Learning, 8, 1999, Rhodes. Proceedings of the VIII Conference on Computer-Supported Collaborative Learning. 1999, J. Berkeley: ISLS, 1999.

_____.; RUSSELL, J. Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, v.34, n. 34, p. 949–968, 1997.

LABARCA, M.; BEJARANO, N.; EICHLER, M. L. Química e filosofia: rumo a uma frutífera colaboração. **Química Nova**. São Paulo, v.36, n. 8, p. 1256-1266, 2013.

LASZLO, P. **A palavra das coisas ou a linguagem da química**. Lisboa: Gradiva, 1995. 283p.

LÜDKE, E; ANDRE, M.E.A.A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: Pedagogia universitária e EDUSP, 1986.

MACHADO, J. **Modelização na formação inicial de professores de Física**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B.; Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**. São Paulo, n. 8, p. 1248-1255, 2013.

McMURRY, J. **Química Orgânica – Combo**. 7 ed., São Paulo: Thompson, 2011.

MELEIRO, A. **Hipermídia e as Representações Imagéticas dos Modelos Teóricos para a Estrutura da Matéria**: Contribuições das novas tecnologias da comunicação para a divulgação de noções sobre a matéria. 1998, 170f. Dissertação de Mestrado em Multimeios do Instituto de Artes - Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP.

MELO, M. R.; NETO, E. G. L. Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em Química. **Pesquisa no Ensino de Química**, vol. 35, n. 2, 2013, pp. 112-122.

MORRISON R. T.; BOYD, R. N. **Química Orgânica**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, L. M. Estudo da percepção em ecossistema urbano: uma contribuição para a educação, planejamento e gestão ambiental. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 89, p. 119-144, 2008.

NERSESSIAN, N. J.; Model-based reasoning in conceptual change. In: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N. J.; THAGARD, P. (Eds.). **Model-based reasoning in scientific discovery**. New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher, 1999. p. 5-22.

NÖTH, W. **Panorama da semiótica**. De Platão a Peirce. São Paulo: Annablume, 1995.

PAIVIO, A. **Mental representations: A dual-coding approach**. New York: Oxford University Press, 1986

PASSOS SÁ, L.; QUEIROZ, S. L. Promovendo a argumentação no ensino superior de química. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2035-2042, 2007.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2010. 337p.

PIETROCOLA M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações no Ensino de Ciências**. v. 4, n. 3. 1999.

QUILEZ, M. J.; MARTINEZ PEÑA, M. B. El Modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio. **Enseñanza de las Ciencias**, Vol. 23, n. 2, 2005, pp. 153-166

ROMANINI, A. V. **Semiótica Minuta: Especulações sobre a Gramática dos Signos e da Comunicação a partir da obra de Charles S. Peirce**. São Paulo, 2006. Tese de Doutorado (Jornalismo) Escola de Comunicação e Artes-ECA/USP, 2006.

ROQUE, N. F. **Substâncias Orgânicas: Estrutura e Propriedades**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

ROQUE, N. F.; SILVA, J. L. P. B. A linguagem química e o ensino da química orgânica. **Química Nova**, v. 31, n. 4, p. 921-923, 2008.

ROZENTALSKI, E. F. **O estatuto ontológico e epistemológico do conceito de orbital em livros didáticos de química geral no século XX: uma análise de seus fundamentos, suas representações e implicações para a aprendizagem**. São Paulo, 2013. Dissertação de mestrado em ensino de ciências. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências – USP. São Paulo, 2013.

SANTAELLA, L. **O que é semiótica**. São Paulo: Brasiliense, 1985.

_____. **A teoria geral dos signos: como as linguagens significam as coisas**. São Paulo: Guazzelli, 2000.

_____. **Semiótica aplicada**. São Paulo: Thomson Learning, 2002.

_____. **Imagem: cognição, semiótica, mídia**. São Paulo: Iluminuras, 2012.

SCHONBORN, K. J.; ANDERSON T. R. The importance of visual literacy in the education of biochemists. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 34, n. 2, p.94-102, 2006.

SOLOMONS, T. W.; FRYHLE, C. B. **Química Orgânica**. 8 ed., v.1. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

SOUZA, K. A. F. D. **Estratégias de comunicação em química como índices epistemológicos: análise semiótica das ilustrações presentes em livros didáticos ao longo do século XX**. São Paulo, 2012. Tese de Doutorado em ensino de ciências. IQ/USP. São Paulo, 2012.

SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. A. Elementos da semiótica peirceana na educação em Química: considerações e possibilidades. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 15. 2010.

Brasília, **Atas do XV ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA**, Brasília- DF, UnB, 2010.

TABER, K. Misconceptions re-conceived: why the effective teacher pays heed to the aufbau principle of learning. A position paper for the virtual asynchronous RSC conference on What does a chemistry teacher need to know? **British Education on-line**. Leeds, March 2002.

Disponível em:
<<http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00003627.htm>> Acesso: 29 de set. de 2014.

TERUYA, L.; MARSON, G. A.; FERREIRA, C. R.; ARROIO, A.. Visualização no ensino de química: apontamentos para a pesquisa e desenvolvimento de recursos educacionais. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 4, p.561-569, 2013.

TORRES, N., LANDA, L., BAUMGARTNER, E., ALÍ, S., DI GIÁCOMO, M., Obstáculos que dificultan el aprendizaje significativo de la química: un análisis transversal, **Primer Congreso Internacional de Pedagogía Universitaria**, Publicado en el libro de resúmenes. Argentina: CABA, 2009.

VICHI; E. J. S.; CHAGAS A. P. Sobre a força de ácidos e bases: algumas considerações. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, p.1591-1594, 2008.

VOLLMER, S. H. Space in molecular representation; or how pictures represent objects. In: BAIRD, D.; SCERRI, E.; McINYTRE, L. (Ed.) **Philosophy of Chemistry**. Dordrecht: Springer, p. 293-308, 2006.

WARTHA, E. J.; **Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica Peirceana**. São Paulo, 2013. Tese de Doutorado em Ensino de Ciências, IQ/USP. São Paulo, 2013.

WARTHA, E. J.; REZENDE. D. B. Os níveis de representações no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.16, n. 2, p. 275-290, 2011.

WU, H.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. Promoting conceptual understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 7, 2001.

WU, H., SHAH, P.; Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science Education**, v. 88, p. 465-492, 2004.