

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BÁSICAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS: QUÍMICA DA
VIDA E SAÚDE

DANIELE TRAJANO RAUPP

**ALFABETIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL, CONTEXTUALIZADA E
HISTÓRICA NO CAMPO CONCEITUAL DA ESTEREOQUÍMICA**

PORTO ALEGRE

2015

DANIELE TRAJANO RAUPP

**ALFABETIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL, CONTEXTUALIZADA E
HISTÓRICA NO CAMPO CONCEITUAL DA ESTEREOQUÍMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências: Química da vida e saúde do Departamento de Bioquímica, Instituto de Ciências Básicas da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título Doutor em Educação em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. José Cláudio Del Pino

PORTO ALEGRE

2015

CIP - Catalogação na Publicação

TRAJANO RAUPP, DANIELE
ALFABETIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL, CONTEXTUALIZADA E
HISTÓRICA NO CAMPO CONCEITUAL DA ESTEREOQUÍMICA /
DANIELE TRAJANO RAUPP. -- 2015.
243 f.

Orientador: José Cláudio Del Pino.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Ciências Básicas da
Saúde, Programa de Pós-Graduação em Educação em
Ciências: Química da Vida e Saúde, Porto Alegre, BR-
RS, 2015.

1. Estereoquímica. 2. aprendizagem. 3. visualização
tridimensional. 4. historicidade. 5.
contextualização. I. Del Pino, José Cláudio , orient.
II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

DANIELE TRAJANO RAUPP

**ALFABETIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL, CONTEXTUALIZADA E
HISTÓRICA NO CAMPO CONCEITUAL DA ESTEREOQUÍMICA**

Esta tese foi analisada e julgada adequada e aprovada para a obtenção do título de Doutora em Educação em Ciências e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Aloir Antonio Merlo – UFRGS

Prof. Dr. Luiz Antonio Mazzini Fountoura – ULBRA

Prof. Dra. Maira Ferreira – UFRGS

Prof. Dr. José Cláudio Del Pino – Orientador

Prof. Dr. Diogo Onofre Gomes de Souza – Coordenador

Para Agostinho e Brigitte, com amor.

AGRADECIMENTOS

Durante os quatro anos de desenvolvimento do trabalho, algumas pessoas foram fundamentais para a conclusão dessa etapa da minha formação acadêmica. Minha profunda gratidão aos meus primeiros educadores: meu pai João Carlos e minha mãe Silvia; aos meus três irmãos Suélen, Gabriele e Lucas pela companhia e incentivo. Um agradecimento especial ao meu marido Agostinho que compartilhou comigo as angústias e conquistas ao longo desse período. Agradeço minha amiga da vida e colega de pós-graduação Fernanda Ponticelli, que desde a graduação me acompanha com seu apoio e entusiasmo.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Del Pino, pelo acompanhamento, dedicação e incentivo. Meu obrigada aos professores do PPGQVS, bem como todos os professores das diferentes instituições que colaboraram para validação desse trabalho. Externo também minha gratidão aos alunos que voluntariamente participaram do processo. A disponibilidade e preciosas observações fornecidas foram fundamentais para conclusão dessa tese.

Meu agradecimento aos membros da Banca de Qualificação, em especial à Prof. Maira Ferreira pelas preciosas contribuições. Finalmente Agradeço a Banca Examinadora por terem atendido ao nosso convite, investindo seu tempo e conhecimento para examinar esse trabalho e contribuir de forma valiosa para meu aprendizado.

“O universo é um todo assimétrico.”

Louis Pasteur, 1948

RESUMO

A compreensão dos processos de aprendizagem de conceitos no campo da estereoquímica e o desenvolvimento de uma estratégia didática que favoreça sua aprendizagem foram os principais objetivos desse trabalho. A compreensão desse campo exige o domínio de uma rede de conceitos abordados nas disciplinas de Química Orgânica básica tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior nos cursos de química, farmácia, biomedicina, bioquímica dentre outros. O ensino de estereoquímica e seus desafios têm sido discutidos há décadas, sendo que a complexidade na resolução de problemas no espaço tridimensional tem sido considerada como uma das principais fontes de dificuldades de aprendizagem. Assim é clara a necessidade de utilizar estratégias em sala de aula que favoreçam o desenvolvimento das habilidades relativas à visualização tridimensional. Mas existe outra barreira a ser transposta na sala de aula: a motivação do aluno para a aprendizagem. Alguns alunos adquirem certa resistência à Química devido à falta de contextualidade na abordagem dos conteúdos. Assim o problema norteador nessa tese é: como tornar mais eficiente o ensino e a aprendizagem da estereoquímica com foco no Ensino Médio? O aporte teórico desse estudo está alicerçado nas teorias cognitivistas de Vygotsky e Vergnaud em função de que ambas consideram a representação como elemento principal na aquisição de conhecimentos, fato que está diretamente relacionada com a questão da visualização e que essa aquisição é dependente do contexto, ou seja, o estudante aprende o que para ele tem significado. Particularmente a Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud ocupa-se em entender melhor quais são os problemas de desenvolvimento específicos de um determinado campo de conhecimento e atribui ao professor o papel de promover oportunidades para que os alunos superem suas dificuldades desenvolvendo assim formas mais eficientes de trabalhar os conteúdos. Para responder essa questão investigamos, inicialmente, estudantes do nível superior, bem como livros de ensino médio e superior. A partir dos dados coletados elaborou-se uma unidade de ensino baseada em uma estratégia didática baseada na tríade alfabetização tridimensional, histórica e contextual que visa à aprendizagem integrada dos diferentes aspectos. A unidade didática foi avaliada por professores de Química de diferentes níveis de ensino para finalmente, na última etapa de coleta de dados, investigar a compreensão de estudantes de Ensino Médio sobre o campo conceitual para diagnosticar o nível de compreensão conceitual, histórica e contextual e verificar o aprimoramento dessa compreensão após uso da unidade de ensino. As análises realizadas durante a pesquisa nos levam a crer que o uso de uma estratégia baseada na tríade alfabetização tridimensional, histórica e contextual pode tornar mais eficiente o ensino e a aprendizagem da estereoquímica uma vez que promove o aprendizado dos conceitos de forma mais abrangente facilitando o desenvolvimento das habilidades tridimensionais necessárias além de uma enculturação dos estudantes nos aspectos sócio-históricos-culturais que são tão fundamentais ao estudo da estereoquímica, e porque não dizer, da Química como ciência.

Palavras-chave: Estereoquímica, aprendizagem, visualização tridimensional, historicidade, contextualização.

ABSTRACT

Understanding the learning processes of concepts in the field of stereochemistry and the developing a teaching strategy that favors their learning were the main objectives of this work. Understanding this field requires mastery of a concept network taught in basic organic chemistry disciplines both in high school and in higher education in chemistry courses, pharmacy, biomedical, biochemical and others. The teaching of stereochemistry and its challenges have been discussed for decades and the complexity in problem solving in the tridimensional space has been considered as one of the main sources of learning difficulties. Hence, it is clear the need to use teaching strategies in the classroom that encourages the development of tridimensional abilities. But there is another barrier to be overcome in the classroom: student motivation for learning. Some students develop a certain resistance to learning chemistry due to lack of contextualization in the content approach. So the guiding problem in this thesis is: how to make stereochemistry teaching and learning more efficient in high school? The theoretical contribution of this study is grounded in the cognitive theories of Vygotsky and Vergnaud because both authors consider representations as the main element in the acquisition of knowledge. This fact is directly related to the issue of visualization and that this acquisition is dependent on the context, meaning that the students actually learn what is meaningful for him. Particularly Vergnaud's theory of conceptual fields is concerned in understanding better what are the specific development problems of a particular field of knowledge and gives the teacher the role of promoting opportunities for students to overcome their difficulties thus developing more efficient ways of teaching specific contents. To answer this question we investigated, firstly, college students, as well as high school and college didactic books on the subject. Using the analysis of the data collected we prepared a teaching unit based on a teaching strategy based on a triad of three-dimensional, historical and contextual literacy that aims the integrated learning of those different aspects. The teaching unit was evaluated by chemistry teachers from different educational levels and finally, the last data collection stage investigate the understanding of high school students about the conceptual field to assess the level of conceptual, historical and contextual understanding, and to investigate the improvement of this understanding after using the teaching unit. The analyzes carried out during the research lead us to believe that the use of a strategy based on three-dimensional, historical and contextual literacy triad can promote a more efficient teaching and learning of stereochemistry. In our point of view, this happens because the teaching unit promotes the learning of concepts in a broader fashion allowing not only the development of the necessary tridimensional skills as well as a enculturation of students in socio-historical-cultural aspects that are so fundamental to the study of stereochemistry, and possibly, Chemistry as a science.

Keywords: Stereochemistry, learning, three-dimensional literacy, historicity, contextualization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Proposta de estratégia.....	20
Figura 2 – Representação de alguns elementos pelos alquimistas.	24
Figura 3 – Estruturas de Couper.	25
Figura 4 – Projeções de Fischer e de Newman.....	26
Figura 5 – Visualização externa servindo de suporte para visualização interna.	28
Figura 6 – Sistemas representacionais.....	30
Figura 7 – Representações para água.	31
Figura 8 - Isômeros do ácido láctico.	32
Figura 10 – Modelo de cartões de plástico.	35
Figura 11 - Exemplo de demonstração de quiralidade.	37
Figura 12 - Diferentes representações em 2D e 3D da molécula trans, but-2-eno.....	54
Figura 13 - Representações Sticks, Wireframe, Spacefill e Balls and sticks	55
Figura 14 - Tríade para formação de conceitos em estereoquímica.....	64
Figura 15 - História, contexto e conceitos científicos interligados.	66
Figura 16 - Estereoisômeros 2-butenos.....	67
Figura 17 - Invariantes utilizados em estereoquímica.	67
Figura 18 - Representações em estereoquímica.	68
Figura 19 - Etapas e amostragem da pesquisa.	70
Figura 20: Estudantes utilizando ChemsSketch.	80
Figura 21 - Isômeros construídos pelos estudantes.	81
Figura 22 - Gestos representativos de forma da molécula.....	87

Figura 23 - Sequência de gestos representativos de posição dos átomos na molécula.	87
Figura 24 - Sequência de gestos representativos de posição de grupamentos.....	88
Figura 25 - Sequência de gestos representativos de movimento de rotação 3D.....	89
Figura 26 - Sequência de gestos representativos de rotação automática.....	89
Figura 27 – Questão 1 - Pré-teste.	107
Figura 28 - Questão 1 - Pós- teste.....	108
Figura 29 - Questão 2 - Pré-teste.....	110
Figura 30 - Questão 2 - Pós-teste.....	110
Figura 31 - Questão 3 - Pré e pós-teste.....	112
Figura 32 - Questão 4 - Pré-teste.....	114
Figura 33 - Questão 4 - Pós- teste.....	114
Figura 34 - Questão 5 - Pré-teste.....	116
Figura 35 - Questão 5 - Pós-teste.....	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Clareza dos conceitos.....	122
Gráfico 2 – Compreensão dos conceitos.	122
Gráfico 3 - Adequação do texto.....	123
Gráfico 4 - Evolução da Estereoquímica.	123
Gráfico 5 – Interesse pela história.	124
Gráfico 6 – Conhecimento histórico.....	125
Gráfico 7- Clareza dos exemplos do cotidiano.....	126
Gráfico 8 – Conhecimento sobre relação com o cotidiano.....	127
Gráfico 9 - Interesse sobre assuntos relacionados ao cotidiano.	128
Gráfico 10- clareza dos exemplos relacionados aos fármacos.	128
Gráfico 11 – Estereoquímica e farmácia.	129
Gráfico 12 – Utilização de software de visualização.	129
Gráfico 13 – Utilidade do uso do software.....	130
Gráfico 14 – Facilidade para utilização do software.	131
Gráfico 15 – Assimilação de conceitos.	132
Gráfico 16 – Importância do campo para os químicos.....	132
Gráfico 17- Importância do campo para profissionais da saúde.	133
Gráfico 18 - Importância do campo para o cidadão.	134
Gráfico 19 – Dificuldade de compreensão.	134
Gráfico 20 - Conhecimento sobre a importância da área.	135
Gráfico 21 – Aprendizado com a Unidade de Ensino.	135
Gráfico 22 - Atenção ao responder o questionário.....	136

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipo e organização da informação histórica – Cientistas.....	92
Quadro 2 - Informação histórica relacionada à evolução da estereoquímica.....	93
Quadro 3 - Ocorrências contextualizadas.....	96
Quadro 4 - Tipo e organização da informação histórica – Cientistas.....	100
Quadro 5 - Informação histórica relacionada à evolução da estereoquímica.....	102
Quadro 6 - Relações com o cotidiano.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Seleção de livros de Ensino Médio.	75
Tabela 2 - Livros analisados.....	76
Tabela 3 - Resultados para questão centros quirais.....	109
Tabela 4 - Resultados para questão sobre enantiômeros.....	111
Tabela 5 - Resultados para questão sobre quiralidade.....	113
Tabela 6 – Resultado para a questão número de estereoisômeros possíveis.....	115
Tabela 7 – Resultado da questão sobre visualização.....	117
Tabela 8 – Conhecimento histórico.....	118
Tabela 9 – Conhecimento sobre aplicações no cotidiano.....	119

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos da tese	18
1.2 Justificativa da tese	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Representações e visualização no ensino de Química	22
2.1.1 Representações na Química	23
2.1.2 A visualização em Química.....	27
2.2 As dificuldades de aprendizagem no campo da estereoquímica	34
2.3 A contextualização e historicidade no ensino de química.....	38
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	43
3.1. A teoria sócio-histórica do desenvolvimento cognitivo de Lev Vigotsky.....	44
3.1.1 Os processos cognitivos e a mediação	45
3.1.2 Instrumentos e Signos	46
3.1.3 O papel do signo na cognição e o processo de internalização.....	48
3.1.4 Zona de desenvolvimento Proximal.....	52
3.1.5 A mediação dos signos na estereoquímica.....	53
3.2 Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud	56
3.2.1 Campo Conceitual.....	57
3.2.2 Esquema	59
3.2.3 Conceito de “Conceito”.....	60
3.2.4 Conceitualização	63
3.2.5 O Campo Conceitual da Estereoquímica.....	64
4 METODOLOGIA.....	70
4.1. Experimento 1.....	71
4.2 Análise de livros didáticos	74
4.3 Criação e validação de uma unidade de ensino	77
4.4 Experimento 2.....	79
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	83
5.1 Resultados do experimento com estudantes do ensino superior	83
5.2 Resultados da análise de livros didáticos de Ensino Médio e Superior	91
5.2.1 Análise de livros didáticos de Ensino Médio	91
5.2.1 Análise dos Livros Didáticos de Ensino Superior.....	99
5.3 Validação da Unidade	106
5.4 Resultado do experimento com alunos do Ensino Médio Técnico	107

5.4.1 Questão 1: Carbono assimétrico	107
5.4.2 Questão 2 : Enantiômeros.....	109
5.4.3 Questão 3: Quiralidade.....	111
5.4.4 Questão 4: Número de estereoisômeros possíveis.....	113
5.4.5 Questão 5: Visualização espacial	115
5.4.6 Questão sobre história da estereoquímica.....	117
5.4.7 Questão sobre a estereoquímica no cotidiano	119
5.4.8 Questionário de avaliação da unidade didática (por parte dos estudantes).....	121
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	137
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
8 PRODUÇÕES DECORRENTES DESTE TRABALHO	152
ANEXO A - TESTE DE DIAGNÓSTICO EM ESTEREOQUÍMICA	153
ANEXO B – AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO	155
APÊNDICE A - PRÉ TESTE ENSINO SUPERIOR.....	158
APÊNDICE B - THINK ALOUD	166
APÊNDICE C – PÓS-TESTE ENSINO SUPERIOR	166
APÊNDICE D – UNIDADE DE ENSINO.....	175

1 INTRODUÇÃO

O conceito de química no espaço (um dos nomes originais da estereoquímica) era considerado por alguns cientistas como um devaneio, sendo duramente criticado. Hoje é considerado um conceito chave, sem o qual a química moderna seria quase que inconcebível (RAMBERG, 2003). A estereoquímica (do grego *stereo* = sólido, tridimensional) estuda as características tridimensionais da molécula e suas relações com as propriedades dos compostos¹. A compreensão de conceitos nesse campo específico da Química exige o domínio de um grande conjunto de conceitos como estrutura molecular, constituição, conectividade, configuração, geometria molecular, quiralidade, dentre outros. Esses conteúdos são geralmente abordados nas disciplinas de Química Orgânica básica tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior nos cursos de Química, Farmácia, Biomedicina, Bioquímica, entre outros.

O ensino de estereoquímica e seus desafios têm sido discutidos há décadas sendo que a complexidade na resolução de problemas no nível tridimensional tem sido considerada como uma das principais fontes de dificuldades de aprendizagem. (FROMM, 1945; SHINE, 1957; EVANS, 1963; HABRAKEN, 1996; WU; SHAH, 2004). Em Química Orgânica, a complexidade dos conteúdos que envolvem resolução de problemas em nível 3D (BAKER, GEORGE, HARDING, 1998; TASKER; DALTON, 2006; CHITTLEBOROUGH; TREAGUST, 2007) justifica o fato de que para alguns estudantes o aprendizado pode ser difícil e algumas vezes traumático, uma vez que a tarefa de visualizar os aspectos tridimensionais de moléculas e suas relações com outras moléculas é considerada difícil (KURBANOGLU; TASKESENLIGIL; SOZBILIR, 2006).

Além da dificuldade dos estudantes em transpor estruturas 2D em 3D para a resolução de problemas na área, existe uma outra barreira a ser transposta na sala de aula: a motivação do aluno para a aprendizagem (CARDOSO, COLINVAUX, 2000). De acordo com Pozo (2002, p.146), “a motivação pode ser considerada como um requisito, uma condição prévia da aprendizagem”. Quando o estudante tem interesse por determinada área, esse interesse “o impulsiona a se aprofundar nela e a vencer os obstáculos que possam ir se apresentando ao longo do processo de aprendizagem” (FITA, 1999, p. 78). Alguns alunos adquirem certa resistência à Química devido à falta de contextualidade, bem como métodos de ensino que focam excessivamente na memorização de nomes, fórmulas e tabelas (BERNARDELLI, 2014).

¹ O capítulo completo que aborda os conceitos fundamentais do campo da estereoquímica encontra-se na Unidade de Ensino no Apêndice D.

Assim, os estudantes podem não compreender fenômenos que não são relacionados ao seu cotidiano (GABEL, 1993).

Não só a questão do aprendizado, como também a questão da motivação pode ser compreendida sob a ótica das teorias cognitivistas. O cognitivismo analisa como o indivíduo adquire conhecimento e como sua estrutura cognitiva é construída. Analisando alguns dos principais teóricos dessa linha, constatamos a forte relação estabelecida entre o aprendizado e o contexto no qual o indivíduo está inserido. Para David Ausubel (2000), aquilo que o estudante já sabe é o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem. Lev Vygotsky considera que o desenvolvimento cognitivo não pode ser entendido sem referência ao contexto social, histórico e cultural no qual ocorre (1998a) e Gerard Vergnaud afirma que um conceito só tem sentido em um determinado contexto (1982).

Além do contexto, as teorias de Vygotsky e Vergnaud consideram outro elemento fundamental para a aprendizagem de conceitos: a compreensão das representações simbólicas – sistema de signos – que estão relacionadas ao conceito. Vygotsky considera que é por meio da interiorização de instrumentos e sistemas de signos, produzidos culturalmente, que se dá o desenvolvimento cognitivo (VYGOTSKY, 1998a). Vergnaud afirma que representações simbólicas podem ajudar o estudante a resolver problemas que eles não conseguiriam resolver sem a ajuda delas. A teoria de Vergnaud busca entender melhor quais são os problemas de desenvolvimento específicos de um determinado campo de conhecimento (o campo conceitual) e permite prever formas mais eficientes de trabalhar os conteúdos (VERGNAUD, 1982, 1994, 1996a).

Assim a tese que defendida nesse trabalho é a de que o ensino de estereoquímica deve contemplar os aspectos relacionados à história e ao contexto da área, além dos aspectos relacionados ao desenvolvimento das habilidades visuais, pois todos os aspectos, sem exceção, são considerados como fundamentais para a aprendizagem do tema.

1.1 Objetivos da tese

Os elementos anteriormente destacados revelam a necessidade do estudo dos processos de aprendizagem de conceitos do campo da estereoquímica e o desenvolvimento de estratégias didáticas que favoreçam sua aprendizagem. Em resumo, o problema norteador nessa tese é: *Como tornar mais eficiente o ensino e a aprendizagem da estereoquímica com foco no Ensino Médio?*

Assim os objetivos específicos do trabalho foram delineados, resumidamente, desta forma:

- a) Investigar o nível de compreensão geral do campo conceitual da estereoquímica de estudantes de Ensino Superior (cursos bacharelado, licenciatura e química industrial), com foco na capacidade de resolução de problemas que envolvam as habilidades visuoespaciais antes e depois da utilização de um software de visualização molecular;
- b) Analisar livros didáticos de Ensino Médio e Superior quanto à abordagem do tema;
- c) Desenvolver uma unidade de ensino baseada em uma estratégia didática que favoreça aprendizagem do campo conceitual para o nível de ensino médio
- d) Proceder a validação da unidade de ensino por professores de Química de diferentes níveis de ensino;
- e) Investigar a compreensão de estudantes de Ensino Médio Técnico sobre o campo conceitual da estereoquímica para diagnosticar o nível de compreensão conceitual, histórica e contextual e verificar o aprimoramento dessa compreensão após uso da unidade de ensino.

1.2 Justificativa da tese

A justificativa para o desenvolvimento dessa pesquisa está centrada em dois pilares principais:

- a) A importância da construção de uma estratégia que considere o diálogo entre história e contexto como um fator não só motivacional, mas também importante para a aquisição de conhecimento.
- b) A necessária alfabetização tridimensional dos estudantes para que possam se apropriar das competências visuoespaciais necessárias para solucionar problemas em estereoquímica de forma menos “traumática”.

A questão da relevância da historicidade e da contextualização no ensino, como comentado anteriormente, não é novidade no ensino de química. No entanto, a *alfabetização tridimensional* – também denominada de alfabetização visual (SCHÖNBORN, ANDERSON, 2006) ou visuoespacial (MILNER-BOLOTIN, NASHON, 2011) que compreende a capacidade

de ler, escrever pensar, aprender, e expressar-se em termos de imagens – é uma questão que merece ser aprofundada para o entendimento dessa proposta de tese. A atenção dos educadores de ciências para esse tipo de alfabetização tridimensional e habilidades de pensamento não deve vir como uma surpresa, considerando-se que grandes descobertas científicas dos séculos XIX e XX, dependiam fortemente sobre a capacidade dos cientistas para visualizar e interpretar os fenômenos em 2D e 3D (MILNER-BOLOTIN, NASHON, 2011; RICHARDSON; RICHARDSON, 2001). Essa necessidade merece destaque uma vez que a representação tridimensional – essencial para a compreensão da estereoquímica -, não é dominada por todos os estudantes (KEIG; RUBBA, 1993), em especial a transição 2D para 3D. Visualizar os aspectos tridimensionais de moléculas e suas relações com outras moléculas é difícil. Ao lidar com os princípios que são particularmente difíceis de visualizar ou conceituar, como estereoquímica, estratégias que focam na alfabetização tridimensional tem sido inestimáveis para o processo de aprendizagem (KURBANOGLU et al., 2006).

Tendo como base a ideia da alfabetização científica como um componente de formação geral, de modo que todos os cidadãos se tornam cientificamente alfabetizados (LEITE, 2002), propõe-se uma estratégia para o ensino de estereoquímica que una os elementos referentes ao conhecimento conceitual com desenvolvimento das habilidades visuais, a compreensão histórica e os conhecimentos das aplicações no cotidiano. Assim surge a ideia do desenvolvimento de uma estratégia de ensino em estereoquímica, que além de abordar aspectos conceituais fundamentais para compreensão do campo, possa unir esses dois pilares supracitados. Essa proposta de estratégia baseia-se na tríade “alfabetização tridimensional, histórica e contextualizada”.

Figura 1 – Proposta de estratégia



O termo *alfabetização* possui além do significado comumente utilizado de “saber ler e escrever”, o significado singular de “saber conhecimentos específicos”, sendo que esse significado reporta a ideia de “ler o mundo” (STAMATTO, 2009). Essa proposta de uma alfabetização está relacionada com o conceito de *alfabetização científica* ou *letramento científico*, uma ideia que tem sido discutida ao longo dos anos e que no já século XVII, era considerada crucial, tendo sido apontada como fundamental para o positivismo de Francis Bacon (SASSERON; CARVALHO, 2011).

Essa tríade prevê uma alfabetização tridimensional, para que o aluno possa resolver problemas em diferentes níveis representacionais; assim como a alfabetização histórica e contextualizada possa contribuir para a motivação para aprendizagem e consequente desenvolvimento de competências e habilidades desejáveis como compreender a estereoquímica global.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica, primeiramente, objetivou contemplar a principal dificuldade de aprendizagem em estereoquímica que de acordo com a literatura é a visualização. Em um segundo momento buscou-se identificar especificamente estudos antecedentes com relatos de professores e pesquisadores sobre as dificuldades de aprendizagem do campo. Finalmente, analisou-se a questão da contextualização e historicidade no ensino de química.

Foram escolhidos periódicos brasileiros, americanos e europeus. Os principais periódicos brasileiros analisados foram os publicados pela Sociedade Brasileira de Química: Química Nova (<http://quimicanova.sbq.org.br>) e *Química Nova na Escola*. O principal periódico americano de ensino de química da *American Chemical Society*: o *Journal of Chemical Education* (<http://jchemed.chem.wisc.edu>) também foi analisado o periódico Science Education da Wiley Online Library ([http://onlinelibrary.wiley.com/journal/](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/http://onlinelibrary.wiley.com/journal/)) e na Europa o periódico *Chemistry Education: Research and Practice* (<http://www.uoi.gr/serp/>). Além dos periódicos foram utilizados livros didáticos de Química e da área de ensino.

2.1 Representações e visualização no ensino de Química

A visualização tem sido utilizada para melhorar o aprendizado não somente na Química (EVANS; YARON; LEINHARDT, 2008), como também em campos com Biologia (MCCLEAN et al., 2005) e Física (PERKINS et al., 2006). Seu papel na bioquímica também tem sido amplamente discutido devido ao uso de ferramentas para visualização de rotas metabólicas (FERREIRA et al., 2008), visualização 3D de estruturas proteicas (COUTO, 2013) e demais ferramentas utilizadas na bioinformática e química medicinal (AMORIM, 2008). Isso porque “representações são as entidades com as quais todo o raciocínio é realizado. Portanto, elas são fundamentais para o processo de aprendizagem e, conseqüentemente, o de ensinar” (GILBERT, 2010, p.2).

Stieff, Bateman, Uttal, (2005) defendem a visualização em ciências como fundamental e que estes processos cognitivos são de suma importância em todos os níveis de estudo destes domínios. Investigações atuais sobre nanotubos de carbono, polímeros condutores, design de fármacos, dentre outras são realizadas e comunicadas com a ajuda de imagens geradas por computador (JONES; JORDAN; STILLING, 2005).

O conjunto de representações simbólicas utilizado em Química é sem dúvida uma característica marcante da área, que é considerada a mais visual das ciências por fazer uso de uma grande variedade de representações (fórmulas, equações, gráficos etc.) como forma de expressar conceitos (HABRAKEN, 1996). As representações são consideradas essenciais para a comunicação dos conceitos em ciência ilustrando um fenômeno invisível ou abstrato que não pode ser observado diretamente (COOK, 2006), e os químicos historicamente usam representações dos mais variados tipos para tornar os modelos de "invisíveis" em moléculas visíveis, para que as características estruturais possam ser analisadas e a estereoquímica das moléculas comunicada (BATEMAN, 2002).

A compreensão e o desempenho em química, e em particular em estereoquímica, são fortemente relacionadas com a visualização 3D (PAVLINIC et al., 2007) uma vez que as representações tridimensionais melhor ilustram a estrutura espacial. O entendimento dessa linguagem científica envolve habilidades específicas para cada uma das ciências. Em Química, por exemplo (BRASIL, 1999, p.34):

Deve-se considerar que a Química utiliza uma linguagem própria para a representação do real e as transformações químicas, através de símbolos, fórmulas, convenções e códigos. Assim, é necessário que o aluno desenvolva competências adequadas para reconhecer e saber utilizar tal linguagem, sendo capaz de entender e empregar, a partir das informações, a representação simbólica das transformações químicas. A memorização indiscriminada de símbolos, fórmulas e nomes de substâncias não contribui para o desenvolvimento de competências e habilidades desejáveis no Ensino Médio.

Assim, o caso específico da Química faz com que ela seja um belo exemplo de como a ciência pode usar as representações e de como imagens são capazes de fornecer informações sutis que são difíceis de descrever em palavras (JONES; JORDAN; STILLINGS, 2001).

2.1.1 Representações na Química

A utilização de representações na Química é tão antiga quanto sua própria origem. Sinais simbólicos foram encontrados em documentos alquímicos gregos já no século XIII. Mesmo assim a visualização é um fenômeno considerado tardio na Alquimia Medieval. Segundo Obrist (2003), praticamente não existem elementos pictóricos em documentos que datam da introdução da Alquimia que ocorreu por volta de 1140 até meados do século XIII. Mas após esse período ocorreu uma mudança no padrão de linguagem alquímica: formas pictóricas foram

desenvolvidas e organizadas em séries completas. Elementos como ouro, prata, estanho, cobre, chumbo, ferro e mercúrio eram conhecidos desde a Antiguidade, e os alquimistas associavam cada um destes elementos a um planeta no sistema solar, além de criar um símbolo para o elemento (Figura 2 - Fonte: Holmyard, 1990, p.53).

Figura 2 – Representação de alguns elementos pelos alquimistas.

☉ ouro [Sol]	⚡ enxofre	⋈ sal amoníaco
☾ prata [Lua]	☉ sal	⚗ sublimação
♀ cobre [Venus]	▽ água	☿ mercúrio sublimado
♂ ferro [Marte]	△ fogo	♁ realgar (sulfureto de arsênio)
☿ mercúrio	∇ água forte	⊕ sais de sulfatos
♄ chumbo [Saturno]	▽ terra	⤿ retorta
♃ estanho [Júpiter]	△ ar	□ sal comum

Fonte: Holmyard, 1990,p.53².

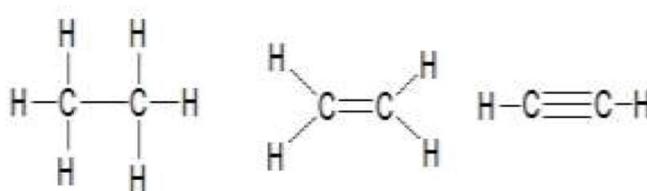
Os signos enigmáticos desenvolvidos com o objetivo de restringir o conhecimento aos iniciados na alquímica foram sendo substituídos pela atual simbologia utilizada para representar os elementos. Essa mudança possibilitou a escrita dos compostos químicos numa forma simbólica simples, e finalmente deu a Química uma linguagem universal, como a Matemática (STRATHERN, 2002).

Lavoisier foi quem iniciou a revolução na nomenclatura química propondo uma nomenclatura descritiva que só previa quais substâncias iriam resultar de uma reação. Por exemplo: zinco + ácido clorídrico = cloreto de zinco + hidrogênio. Anos mais tarde, ainda no século XIX, a linguagem proposta por Berzelius (BERZELIUS, 1814 apud CROSSLAND, 1962) contrastava com a linguagem de Lavoisier, pois apresentava uma linguagem matemática associada aos símbolos dos elementos que podia prever as quantidades relativas que estavam envolvidas na reação (STRATHERN, 2002), assim a reação anteriormente descrita seria representada da seguinte forma: $Zn + 2 HCl = ZnCl_2 + H_2$

² Figura utilizada com permissão. Copyright 2015 Dover Publications. Apêndice B.

No ano de 1861 o químico russo Butlerow, baseado na descoberta das múltiplas valências do carbono pelo químico escocês Couper, em um congresso, formalmente introduziu o conceito de estrutura. A denominada estrutura Couper introduz elementos representacionais que refletem o conceito de ligação simples, dupla ou tripla, na qual cada ligação podia ser representada por um traço conectando ambos os átomos ligantes conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Estruturas de Couper.



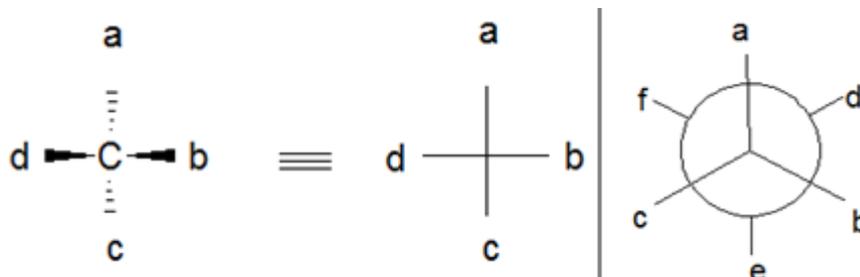
Fonte: Autora (2012).

No entanto, a estrutura proposta por Couper não representava de maneira adequada a distribuição espacial dos átomos na molécula. Para isso foi necessário criar uma representação tridimensional que melhor representasse essa situação (MORTIMER, 1996, p.19):

A partir da segunda metade do século XIX, os químicos começaram a usar as fórmulas como uma representação espacial da molécula, que poderia explicar várias propriedades das substâncias. As fórmulas químicas passavam a representar não só as quantidades combinadas, mas também a realidade molecular, permitindo antever como os átomos que constituíam a molécula estavam distribuídos no espaço e de que forma se ligavam uns aos outros.

Para facilitar a compreensão das estruturas moleculares químicas, algumas convenções foram criadas para representar, bidimensionalmente, no papel, objetos que estão no espaço tridimensional (BALABAN, 1999). Essas convenções são denominadas projeções. Na Figura a projeção de Fischer (esquerda) e Newman (direita) são exemplos de e são utilizadas para mostrar a estrutura tridimensional dos compostos de diferentes formas. As projeções tridimensionais em papel auxiliam na compreensão do arranjo espacial molecular, quando não é possível se utilizar outros meios como modelos concretos ou computacionais. Como a projeção de Newman, que além de representar a conectividade dos átomos, indica o arranjo espacial das ligações; ou a Projeção de Fischer, importante para representar a estrutura de moléculas com muitos carbonos assimétricos (BARBOSA, 2011).

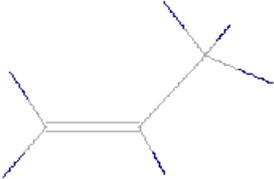
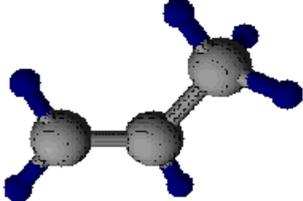
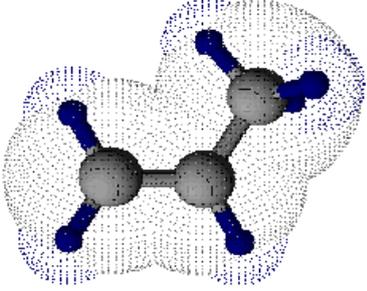
Figura 4 – Projeções de Fischer e de Newman.



Fonte: Autora (2012).

Existem também várias representações 3D utilizadas para referir-se aos compostos químicos, as quais podem ser construídas com materiais diversos ou em ambiente virtual. A Tabela 1 apresenta apenas algumas possibilidades de representações para a mesma molécula construídas com um software de visualização molecular. Cada um desses modelos apresenta diferentes níveis de complexidade e oferece informações distintas sobre a estrutura da molécula. Toda essa gama de representações externas é utilizada para prestar apoio para a visualização interna, permitindo a resolução de problemas que envolvem a compreensão de estruturas moleculares e os conceitos a elas relacionados.

Tabela 1 - Possíveis modelos para a molécula do hidrocarboneto prop-1-eno.

Modelo em forma de arames	Modelo de bolas e varetas	Modelo com nuvem eletrônica
		

Fonte: Autora (2012).

A evolução a partir dos primeiros desenhos primitivos para os gerados por computador é considerada uma clara demonstração da evolução simultânea de uma ciência e sua linguagem científica (HABRAKEN, 2004).

A importância e o papel desses diferentes tipos de modelos podem ser interpretados sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais, pois para Vergnaud, assim como há problemas mais facilmente resolvíveis do que outros, ou procedimentos mais fáceis do que outros haveria representações simbólicas mais potentes do que outras (1982). Sendo assim dependendo da situação que precisa ser resolvida dentro do campo da Química Orgânica, existem formas de representações de modelos moleculares que podem ser mais potentes que outras. “O sujeito deve, portanto, ser capaz de dar significado à representação externa do problema, mas para isso ele necessita representá-la também internamente, ou seja, mentalmente, através de imagens, proposições ou modelos mentais” (COSTA; MOREIRA, 2001, p.65). Segundo Zhang, (1997), dependendo da informação contida na representação externa, ela pode ser captada, analisada e processada por sistemas perceptivos, sendo assim esses detalhes da representação externa podem ser captados de modo que o estudante possa internalizar uma representação considerada mais poderosa.

2.1.2 A visualização em Química

De acordo com Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa, há três significados para o verbo *visualizar* (HOUAISS, VILLAR, FRANCO, 2004, p.2872):

1.tornar visual, convertendo (algo abstrato) em imagem mental ou real.2.tornar (algo) visível mediante determinado recurso.3. formar uma imagem visual mental de (algo que não existe ou não está diante dos olhos), imaginar.

Seu significado não é muito diferente para a Educação. Em publicações científicas pertencentes à Educação Química o termo visualização é utilizado para referir-se às atividades de imaginação visual; cujo significado tem sido estendido para uso na criação de imagens externas que ampliam nossa experiência visual ou imaginação (JONES; JORDAN; STILLINGS, 2001).

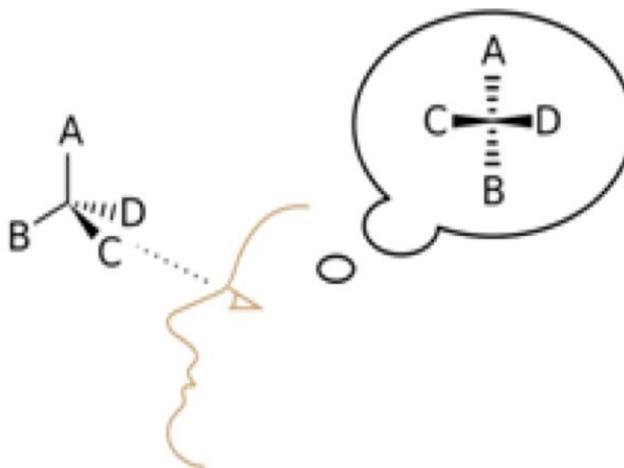
A habilidade de relacionar estruturas em diferentes dimensões é denominada visualização espacial, que se traduz na capacidade de compreender objetos tridimensionais a

partir de representação bidimensionais e vice versa. (GILBERT, 2005). “Essa habilidade ou inteligência espacial, que envolve pensar em imagens, permite perceber, transformar e recriar diferentes aspectos do mundo visual e espacial.” (SEABRA; SANTOS, 2004, p.2). E essa aptidão é um dos fatores cognitivos que podem ser relevantes para o domínio de conceitos de ciências, em especial da Química (GILBERT, 2005).

Para identificar e diferenciar determinadas estruturas, o raciocínio espacial é requerido, pois os estudantes precisam rotacionar mentalmente a molécula, fazer as devidas relações entre elas e manipulá-las. (RAUPP, 2010). A habilidade de compreender e expressar-se por meio da estrutura espacial a fim de representar compostos orgânicos, é particularmente importante porque, na maioria dos casos, uma fórmula molecular bidimensional pode representar vários diferentes compostos, como no caso dos estereoisômeros. (TVERSKY, 2005). A *visualização* (Figura 5) pode compreender dois significados principais (GILBERT, 2005, TVERSKY; 2005).

- “visualização externa” cujos modelos são representados por nossa percepção visual, promovendo uma espécie de suporte para toda a percepção;
- “visualização interna” em que os resultados da percepção estão representados na mente, desempenhando um papel fundamental no processo cognitivo.

Figura 5 – Visualização externa servindo de suporte para visualização interna.



Fonte: Autora (2012).

O suporte da visualização externa para a visualização interna segundo Mathewson envolve o pensamento visuoespacial, pois “inclui visão - o processo de usar os olhos para

identificar, localizar, e pensar em objetos e orientar-nos no mundo, e imagens - a formação, inspeção, transformação e manutenção de imagens no "olho da mente", na ausência de um estímulo visual (1998, p.33). Cabe ressaltar que por estarem associados às representações mentais, os termos visualização externa e interna, no caso das ciências, frequentemente são substituídos pelos termos representação externa e interna.

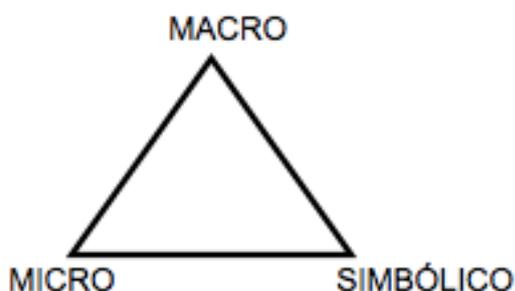
O processo de captação da representação externa depende da “[...] habilidade ou inteligência espacial envolve pensar em imagens, bem como a capacidade de perceber, transformar e recriar diferentes aspectos do mundo visual e espacial” (SEABRA; SANTOS, 2004, p.2). Cox (1999) ao investigar o processo de internalização, estudou as representações usadas em solução de problemas, encontrando que os sujeitos diferiam na maneira de externalizar seu raciocínio. Alguns sujeitos produziam representações parciais, as quais pareciam funcionar principalmente como ajuda de memória; outros sujeitos construíam representações bastante compreensíveis e pareciam se comprometer com o modelo de raciocínio no qual elas tinham função central. Finke (1989) definiu a geração de imagens mentais como a recriação ou re-invenção de uma experiência que em pelo menos alguns aspectos relembra a experiência de efetivamente perceber um objeto ou evento. Existe na literatura suporte para a idéia que o uso de imagens animadas é útil ao aprendizado. Frederiksen, White e Gutwill (1999) verificaram que estudantes de Ensino Médio a quem eram fornecidos apenas imagens iniciais e finais de um modelo agregado de um circuito elétrico tiveram menor rendimento que estudantes a quem foram fornecidos as imagens completas. Algumas das imagens mentais envolvidas parecem ser sinestésicas por natureza, quando, por exemplo, experts em Física imaginam manualmente um empurrão ou puxão (CLEMENT, 2006); além disso, imagens sinestésicas parecem estar associadas com a intuição física (GOODING, 1996).

Como não temos acesso às representações internas dos estudantes, não podemos ter certeza de sua acurácia. Não sabemos se a partir das representações externas utilizadas no processo de ensino, o estudante construiu mentalmente a representação interna que representa, de fato, o problema. Para nos certificarmos do resultado do uso das representações externas no processo de aprendizagem, torna-se necessário “desenvolver uma visão mais clara dos conjuntos de conceitos definidos para que possamos entender melhor estes processos de raciocínio não-formal” (STEPHENS; CLEMENT, 2010). Pesquisas recentes acreditam que os gestos parecem estar intimamente associados às representações internas do sujeito (LOZANO; TVERSKY, 2005; IVERSON; GOLDIN, 1997, 1998) e segundo a teoria da mediação de Vygostky (1998a, pp. 141) “[...] toda atividade representativa simbólica é plena desses gestos

indicativos [...] sendo uma maneira de simbolizar atos, ações, sentimentos e objetos dentro do imaginário.”. Os gestos que sugerem representações são considerados evidência de que os gestos não são apenas uma tradução verbal de significados sujeitos, mas podem revelar um pensamento não verbal (STEPHENS; CLEMENT, 2010).

Essas visualizações estão relacionadas com as diversas representações utilizadas em Química, que podem ser descritas em termos de sistemas representacionais. Nessa perspectiva Gabel (1999) classifica os sistemas em três níveis específicos: macroscópico, microscópico e simbólico (Figura 6).

Figura 6 – Sistemas representacionais.



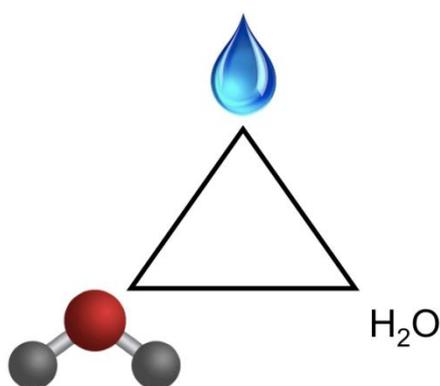
Fonte: Autora (2012).

Em toda a aprendizagem e, especialmente, em ciências os indivíduos formam três tipos de visualizações relacionadas com os níveis representacionais (GILBERT, 2010). Esses níveis representacionais são detalhados da seguinte forma (JOHNSTONE, 1991; GILBERT; TREAGUST, 2009): o *nível macroscópico* corresponde às representações mentais adquiridas a partir da experiência sensorial direta, é construído mediante a informação proveniente dos sentidos. Esse nível descreve as propriedades empíricas dos sólidos, líquidos (incluindo soluções), colóides etc. que são de interesse para os químicos e que podem ser investigado com os instrumentos disponíveis atualmente. O *nível microscópico* (também denominado por alguns autores como *submicro*) está correlacionado às representações abstratas, com as entidades pequenas para serem vistas com um microscópio óptico (ou seja, átomos, íons, moléculas de radicais livres). São os chamados modelos que permitem explicações interpretativas e causais. Já o *nível simbólico* expressa os conceitos químicos a partir de fórmulas, equações entre outros. Letras são utilizadas para representar elementos, sinais para cargas elétricas, subscritos para indicar o número de átomos de uma espécie em particular, índices para indicar o estado físico,

e suas incorporações em equações químicas quantitativamente equilibradas para o fenômeno macro e para todas as mudanças químicas que ocorrem.

De uma forma resumida, se utilizarmos a água como exemplo para essas visualizações (Figura 7) o nível macroscópico é representado pela gota de água, o nível microscópico pelo modelo de bolas e palitos e finalmente a nível simbólico pela fórmula molecular da água.

Figura 7 – Representações para água.



Fonte: Autora (2012).

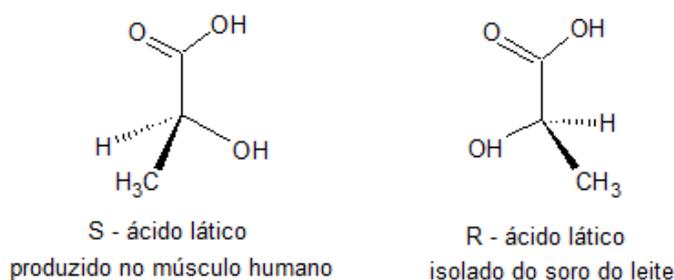
Os diferentes tipos de representações são utilizados em química tanto para fazer previsões, quanto para construir explicações, que são baseadas na identificação de características desses diferentes níveis de representação (STAINS; TALANQUER, 2007). De acordo com a situação a ser resolvida, utiliza-se um ou outro nível de representação, ou a combinação deles. No caso da estereoquímica a representação simbólica não é suficiente para explicar o fenômeno. Somente com a análise a nível microscópico, que indica o arranjo espacial dos átomos na molécula, é possível verificar a diferença entre ambos, possibilitando assim a identificação dos estereoisômeros.

Vejamos o caso dos isômeros do ácido lático: a fórmula (nível simbólico) para ambos é C₃H₆O₃. Entretanto, a representação simbólica não é o suficiente para explicar o fenômeno que origina dois compostos com propriedades diferentes. Atualmente, o estereoisômero ácido lático levógiro é produzido industrialmente por meio da fermentação bacteriana da lactose e empregado na neutralização da cal, no curtimento de couros, e na indústria alimentícia, como acidulante. Já ácido lático destrógiro é produzido em nosso próprio corpo. Quando

metabolizamos glicose pela atividade muscular anaeróbica, o ácido lático é gerado nos músculos e depois oxidado totalmente a CO_2 e H_2O (LEHNINGER et al., 1995).

Mas ao visualizarmos suas representações moleculares 3D como na Figura 8, os elementos apresentados favorecem a diferenciação dos isômeros.

Figura 8 - Isômeros do ácido lático.



Fonte: Autora (2012).

O uso de representações requer uma série de operações cognitivas, tais como o reconhecimento de convenções gráficas e manipulação da informação espacial para que o sujeito seja capaz de imaginar uma estrutura molecular, mentalmente seguindo regras baseadas em conceitos. Lidar com representações exige que o indivíduo seja capaz de construí-las mentalmente para transitar entre três tipos de representação: macro, micro, e simbólico. Esta capacidade tem sido descrita como *metavisualização* que envolve a capacidade de adquirir, controlar, integrar e ampliar-se a partir de representações (GILBERT 2005, 2010).

Para a realização de operações mentais envolvendo as habilidades metavisuais é necessário o desenvolvimento três habilidades complementares (BARNEA, 2000; CHOI, 2001, GILBERT, 2010):

a) Visualização espacial: A capacidade de compreender os objetos tridimensionais a partir de representações bidimensionais deles (e vice-versa) consiste na manipulação de problemas visuais complexos imaginando os movimentos relativos das partes internas de uma imagem.

b) Orientação espacial: a capacidade de imaginar que uma representação tridimensional será semelhante a partir de uma perspectiva diferente. Esta é a rotação mental: definida como habilidade de manipular, rotacionar, torcer ou inverter objetos tridimensionais.

O indivíduo deve ser capaz de visualizar e rotacionar mentalmente os objetos em posições diferentes.

c) Relações Espaciais: a capacidade de visualizar os efeitos das operações de reflexão e inversão, ou seja, de determinar relacionamentos espaciais a partir de informações visuais.

As habilidades visuoespaciais, ou habilidade metavisuais (GILBERT, 2005) têm sido investigadas principalmente no campo da química (WU; SHAH, 2004). Nesse sentido as habilidades espaciais são um dos fatores cognitivos que podem ser relevantes para o domínio de conceitos de química. (WU; SHAH, 2004; GILBERT, 2005). Nos últimos anos, tem sido dada grande ênfase ao estudo das visualizações externas e de habilidades visuoespaciais e sua relação com o desenvolvimento de competências na área de educação química, devido à característica fortemente visual das representações utilizadas nesta área do conhecimento (GILBERT, 2005; WU; SHAH, 2004; HABRAKEN, 2004). Em ciência, a inteligência espacial envolvendo memória visual, imaginação visual, e processamento mental visuoespacial de informações tem sido há muito tempo reconhecido. Temos como exemplos famosos Kekulé, que criou a estrutura hexagonal do benzeno, e Watson e Crick com a estrutura de DNA, ambos usando a inteligência visuoespacial (GILBERT, 2005).

Frequentemente, estudantes apresentam dificuldades na compreensão dos fenômenos físicos e químicos nos níveis microscópico e simbólico (ANDREU; RECENA, 2007; KOZMA; RUSSEL, 1997; RUBBA, 1993). Essa dificuldade também pode ser atribuída ao nível de abstração envolvido na resolução do problema e ao fato dos pensamentos dos alunos serem essencialmente baseados em informações sensoriais (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001). Dessa forma podemos considerar que uma parcela das dificuldades de aprendizagem da estereoquímica está relacionada ao fato das representações químicas serem tipicamente abstratas e da necessidade da compreensão de uma gama de diferentes representações. Torna-se necessário, além da compreensão destas representações abstratas, transitar entre os níveis macroscópico, microscópico e simbólico, para compreender os conceitos químicos por eles representados, utilizando as habilidades metavisuais.

2.2 As dificuldades de aprendizagem no campo da estereoquímica³

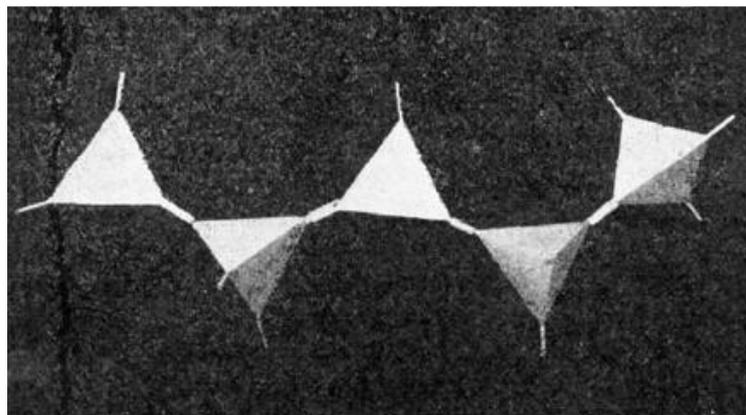
Algumas estratégias para facilitar a compreensão do universo 3D da Química têm sido utilizadas: projeções, modelos moleculares e ferramentas para visualização de molecular. (ROQUE, SILVA, 2008). Isso porque a utilização apenas das fórmulas 2D, em detrimento do uso de modelos 3D, pode dificultar a compreensão de estudantes que não estão familiarizados com a visão tridimensional de átomos e moléculas. Tendo em vista que alguns tipos de representações podem ser “mais poderosos” que outros no processo de conceitualização (VERGNAUD, 1982), a representação externa a ser utilizada deve ser a que fornece o maior número de informações sobre a estrutura.

Mas a questão da visualização ainda parece ser o principal desafio no processo de aprendizagem de estereoquímica. Na literatura as publicações existentes tratam especificamente desse tópico. Um exemplo sobre essa discussão no meio científico foi detectado durante uma busca específica no periódico *Journal of Chemical Education* sobre ensino de estereoquímica. É possível encontrar artigos que abordam o assunto desde a década de 40, conforme explanado resumidamente nesse subcapítulo.

No ano de 1945 um professor da Escola Politécnica de Porto Rico, escreveu uma carta ao diretor da *JCE* na qual criticava o uso de modelos moleculares no ensino uma vez que os alunos não se familiarizam com um modelo que tinham acesso apenas em sala de aula. Então ele decidiu que seus alunos construiriam com cartolina seus próprios modelos (Figura 9), e com o uso desses modelos, uma vez que cada aluno poderia manipular os modelos individualmente. “[...] resultados muito melhores foram obtidos [...]” (FROMM, 1945, p.43).

³ ENEPEC 2013

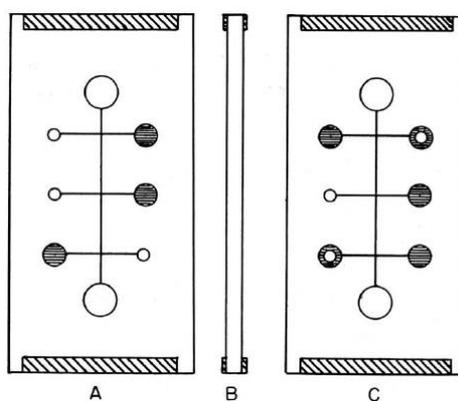
Figura 9 - n-pentano.



Fonte: Fromm, 1945, p.43⁴.

Na década seguinte, no de 1957, uma professora da Universidade de Tecnologia do Texas também defendia a ideia da não utilização de modelos tridimensionais (SHINE, 1957). Seu argumento era que esses modelos apresentavam uma desvantagem: o professor estava familiarizado com as formas das moléculas que estavam sendo apresentadas, enquanto o estudante poderia estar vendo pela primeira vez e além disso estava visualizando esse modelo a uma determinada distância. Tentando solucionar o problema de aprendizagem de seus estudantes ela criou modelo específico. A ideia era construir cartões de plástico com a projeção da molécula e sobrepor um cartão sobre o outro.

Figura 10 – Modelo de cartões de plástico.



Fonte: Shine, 1957, p.35⁴.

⁴ Figuras utilizada com permissão. Copyright 2015 American Chemical Society. Apêndice B.

Na Figura 10 temos um cartão com a projeção do ácido alfa-hidroxi-glutárico (A), a vista lateral do cartão (B) e os dois cartões sobrepostos (C), sendo que o primeiro cartão (A) foi rotacionado 180° no plano, para ilustrar a imagem especular.

Na década de 60, além do problema relacionado com os tipos de modelos, havia uma indefinição sobre a linguagem química, sendo que um dos motivos era a discordância completa entre os químicos de diferentes países (ROQUE; SILVA, 2008). Sendo assim, os termos isomerismo "óptico" e "geométrico"⁵ eram utilizados para definir a estereoquímica. Esses termos eram a linha divisória entre os dois tipos de estereoisomerismo.

No entanto, esse problema parece não ter sido solucionado, uma vez que:

Alguns químicos ainda usam conceitos e definições no campo da estereoquímica que são de natureza operacional, e parece haver considerável confusão sobre o assunto, não só nos livros relativamente recentes da química orgânica, mas em escritos mais avançadas em estereoquímica. (NOYCE, 1961, p.23)

Em 1963 o professor Evans da Tufts University, em Massachusetts quando pesquisou sobre processo de aprendizagem em estereoquímica, concluiu que seus alunos estavam conscientes da natureza da sua dificuldade e estavam dispostos a lutar para superá-la. No entanto, menos da metade de cada classe alcançava uma compreensão suficiente dos fundamentos da estereoquímica para ser capaz de dar respostas claras e corretas mesmo para problemas considerados “modestos”. Evans (1963, p.439) comenta que:

Não esperava que seus estudantes fossem tão inteligentes quanto van't Hoff, mas o fracasso em lidar com casos mais simples parece não deixar alternativa à conclusão de que muitos estudantes são simplesmente incapazes do mínimo necessário para compreender as visualizações tridimensionais.

Não havia interesse dos estudantes em utilizar modelos, segundo esse professor, pois mesmo quando eles utilizavam não conseguiam muitas conclusões a partir de seu uso, o que segundo a pesquisadora, aponta novamente para o fato da visualização tridimensional inadequada como principal fonte de dificuldade. Ao mesmo tempo, um número considerável de estudantes não

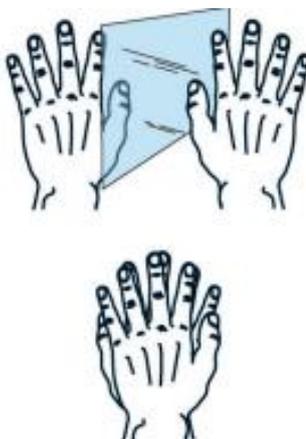
⁵ Cabe alertar que isomeria óptica e isomeria geométrica são considerados termos obsoletos e com o uso fortemente desencorajado pela IUPAC. Os termos a serem utilizados são diastereoisômeros e enantiômeros. (IUPAC 2012).

adquire qualquer habilidade na resolução de problemas estereoquímicos, aparentemente porque eles não conseguem visualizar relações espaciais (WU; SHAH, 2004).

Na década de 80, o professor Beauchamp, da Universidade Politécnica do estado da Califórnia, considerava a compreensão da estereoquímica como uma ginástica mental, que segundo ele “pode ser muitas vezes desesperadamente frustrante para o aluno”. (BEAUCHAMP, 1984). Tal complexidade justifica o fato de que para alguns estudantes o aprendizado de estereoquímica pode ser difícil e algumas vezes traumático, pois a tarefa de visualizar os aspectos tridimensionais de moléculas e suas relações com outras moléculas é um desafio considerável (KURBANOGLU; TASKESENLIGIL; SOZBILIR, 2006).

Em outras palavras, o problema do ensino de química, é que apesar da Química estar evoluindo para uma ciência muito dependente da inteligência visuoespacial, fazendo uso intensivo de diferentes representações, utiliza-se a mesma abordagem de 40-50 anos atrás. (HABRAKEN,1996). O conceito de quiralidade, por exemplo, que é fundamental para a compreensão de conteúdos de química orgânica, bioquímica e biologia molecular, é muitas vezes introduzida em livros de química orgânica apenas pela ilustração de um par de mãos como o apresentado na figura 11 (COELHO, 2001, p.25), sem a devida ênfase na visualização dos modelos moleculares. Segundo Gawley (2005) isso é como ensinar alguém a nadar, jogando-o em águas profundas: às vezes funciona, mas o estudante pode temer a ideia mais adiante.

Figura 11 - Exemplo de demonstração de quiralidade.



Fonte: Coelho, 2001, p.25.

Dessa forma, o aprendizado de Estereoquímica representa um desafio considerável para não só estudantes, mas representa igualmente um desafio para os professores que devem auxiliar os estudantes no desenvolvimento de habilidades para resolução desses problemas. Para minimizar essas dificuldades de aprendizagem, torna-se necessário desenvolver habilidades e competências relativas à compreensão de conceitos químicos representados tridimensionalmente. (RAUPP, DEL PINO, 2011, WU; SHAH, 2004).

Por essa razão, uma abordagem benéfica para a compreensão de conceitos que pode ser aplicada em sala de aula é a utilização de modelos concretos, ilustrações, animações, modelagem e simulações (TASKER; DALTON, 2006; CHITTLEBOROUGH; TREAGUST, 2007). Essas representações podem auxiliar nas dificuldades que os estudantes possuem em visualizar estruturas moleculares 3D promovendo a denominada alfabetização tridimensional.

Apesar de ser a dificuldade mais pontuada na questão do aprendizado, a visualização não pode ser apontada como única. Conforme citado anteriormente por Gabel (1993), os estudantes podem não compreender fenômenos que não foram considerados relacionados ao cotidiano do aluno.

2.3 A contextualização e historicidade no ensino de química

A discussão sobre ensinar conceitos científicos de forma contextualizada, ou seja, relacionando aplicações cotidianas e até mesmo fatos históricos, não é uma novidade no Ensino de Ciências. Ao analisar o cenário da inserção das disciplinas de Ciências Fundamentais na educação básica brasileira, pode-se observar que essa tentativa vem ocorrendo há décadas. Por influência dos positivistas, no ano de 1890, ciências como Matemática, Astronomia, Física, Química, Biologia e Sociologia foram incluídas na educação básica brasileira (ROSA A., ROSA C., 2012). Porém, somente quarenta anos depois com a reforma Francisco Campos em 1931, a Química passou a estar oficialmente presente nos currículos brasileiros. Sua finalidade no currículo foi definida da seguinte forma:

O ensino de Química tem por fim proporcionar aos alunos o conhecimento da composição e da estrutura íntima dos corpos, das propriedades que delas decorrem e das leis que regem as suas transformações, orientando-o por um raciocínio lógico e científico de valor educativo e coordenando-o, pelo interesse imediato da utilidade, com as aplicações da vida cotidiana. (BRASIL, 1931, p. 70).

Essa reforma já sinalizava, na época, a importância de articular o ensino de química com o cotidiano. (BRASIL, 2001). Passaram-se os anos e não é essa a realidade do ensino de química segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN). No documento encontra-se afirmação de que a abordagem da Química na escola: “embora às vezes a ‘maquiada’ com uma aparência de modernidade, a essência permanece a mesma, priorizando-se as informações desligadas da realidade vivida pelos alunos e pelos professores” (BRASIL, 1999, 30). Essa realidade maquiada e desconexa também é ressaltada por Lima e colaboradores (2000, p.26) ao afirmar que “o ensino de química, muitas vezes, tem-se resumido a cálculos matemáticos e memorização de fórmulas e nomenclaturas de compostos [...]”.

O problema da falta de contextualização gera um efeito que se traduz em um círculo vicioso. Professores que não utilizam o cotidiano como estratégia para aproximar os alunos das Ciências tem formado alunos que não fazem essa relação e de acordo com Lufti (1988), nossa experiência como alunos influencia nossa ação como professores: podemos agir da mesma maneira ou mudar. O autor comenta que como alunos no 2ª grau (atual Ensino Médio) fomos expostos, na maioria das vezes a um grande número de informações, com aulas centradas em decorar nomes, fórmulas, decorar regras e nomenclaturas sem o desenvolvimento das devidas relações, na maioria das vezes.

Considerando essas ponderações sobre o ensino de Química nos documentos oficiais do Ministério da Educação, percebe-se a existência de orientações para a utilização de uma abordagem que contemple não só aspectos relacionados ao contexto dos estudantes, como também aspectos históricos. A relevância do conteúdo histórico é claramente abordada nos PCN: “a história da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos” (BRASIL, 1999, p.31).

Mas, embora seja reconhecida a importância da compreensão da Ciência como sendo um processo de construção social, na prática isso não ocorre nas salas de aula, ou ocorre de forma superficial. Silva (2003 p.26) comenta que:

[...] o cenário que se apresenta não é satisfatório com relação a esse aspecto. Observa-se com frequência que a seleção, a sequenciação e a profundidade dos conteúdos estão orientadas de forma estanque, acrítica, o que mantém o ensino descontextualizado, dogmático, distante e alheio às necessidades e anseios da comunidade escolar.

A imagem da química como um dogma precisa ser desconstruída de modo a evitar a ideia de uma ciência feita basicamente por gênios ou que está longe da ciência realizada. (LOGUERCIO, DEL PINO, 2007; SALATIEL, VIENNOT, 1985). É preciso quebrar alguns paradigmas que podem estar inclusive associados ao nível de rejeição do tema.

Em suma, as recomendações do MEC consistem em uma sala de aula na qual o professor utiliza uma metodologia que compreenda história, filosofia, contextualização além do conteúdo em si. Em se tratando das recomendações para o Ensino Superior, nas Diretrizes Curriculares para Cursos de Química, Bacharelado e Licenciatura Plena a questão dos currículos atuais que não acompanham o desenvolvimento da ciência são abordadas.

Os currículos vigentes estão transbordando de conteúdos informativos em flagrante prejuízo dos formativos, fazendo com que o estudante saia dos cursos de graduação com "conhecimentos" já desatualizados e não suficientes para uma ação interativa e responsável na sociedade, seja como profissional, seja como cidadão. (BRASIL, 2001.p.2).

A mesma crítica aos currículos desatualizados no ensino de química era discutida por Lufti há quase 25 anos atrás, quando o autor comentava que apesar da Teoria dos orbitais atômicos e a Teoria dos orbitais moleculares terem sido propostas na década de 20, na década de 60 ainda não era ensinada no 2º grau. Além dessa desconexão entre conteúdos abordados e as descobertas da área, Schnetzler no ano de 1981, já abordava a “ausência de experimentação e de relação com a vida cotidiana e ênfase na memorização do conhecimento químico” (SCHNETZLER, 1981, p.6).

Dentre as habilidade e competências do graduado em Química destacadas nas Diretrizes Curriculares uma delas é “reconhecer a Química como uma construção humana e compreendendo os aspectos históricos de sua produção e suas relações com os contextos culturais, socioeconômico e político” (BRASIL, 2001, p.5). Essa abordagem é igualmente trazida pelo PCN no seguinte trecho: “a consciência de que o conhecimento científico é assim dinâmico e mutável ajudará o estudante e o professor a terem a necessária visão crítica da ciência” (BRASIL, 1999, p.31). É considerada uma habilidade requerida aos Licenciados em Química: “ter uma visão crítica com relação ao papel social da Ciência e à sua natureza epistemológica, compreendendo o processo histórico-social de sua construção” (BRASIL, 2001, p.6).

Apesar de ser discutida há anos, a alfabetização científica é um tema considerado complexo e como consequência tem diferentes definições. Para esse trabalho o termo será considerado como “o ensino cujo objetivo seria a promoção de capacidades e competências entre os estudantes capazes de permitir-lhes a participação nos processos de decisões do dia-a-dia.” (SASSERON; CARVALHO, 2011). Para designarem o objetivo desse ensino de Ciências que almeja a formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de sua vida.

No ensino de ciências o significado de *alfabetização científica*, bem como os demais termos associados (letramento, enculturação, etc), é uma ideia discutida ao longo dos séculos. No ano de 1620, o filósofo inglês Francis Bacon, considerado pai de ciência moderna, defendia a “necessidade de preparar intelectualmente os indivíduos para o bom uso de suas faculdades intelectuais, o que, segundo ele, se dá por meio de conhecimentos sobre as ciências” (SASSERON; CARVALHO, 2011). O vice-presidente dos Estados Unidos da América, Thomas Jefferson, no ano de 1798, reivindica que as ciências sejam ensinadas nas escolas, qualquer que seja o nível de ensino oferecido. No ano de 1859, o filósofo e positivista Herbert Spencer, já mostrava a necessidade de ensinar conteúdos que faziam parte da vida cotidiana de seus alunos. (HURD, 1998).

Trazer o cotidiano do aluno para sala de aula, mostrar que o conhecimento tecnocientífico tem relação direta com seu dia a dia é um dos desafios que nós professores temos dentro de sala de aula (FRANÇA, 2005, p.11).

Correia e colaboradores (2009) afirmam que “a química orgânica é introduzida de forma árida para os alunos, que não conseguem relacionar esse conhecimento escolar com suas experiências prévias”. A estereoquímica é um campo rico para a abordagem de sua história bem como sua contextualização. Temos inúmeros exemplos que podem ser abordados, desde os mais simples, como o caso da gordura trans até o mais complexo como a quiralidade de determinados fármacos visto que o metabolismo dos seres vivos é altamente relacionado a estereoquímica. (FREITAS, 2010). Os estereoisômeros apresentam na grande maioria das vezes, perfis terapêuticos diferentes, por isso pesquisa para desenvolvimento de fármacos enantiomericamente puros tem crescido nas últimas décadas (LIMA, 1997). O que poderia parecer um requinte da química na verdade, um conceito de importância fundamental para o entendimento dos mecanismos de ação de uma grande maioria dos agentes que promovem o estado de anestesia, por exemplo (SIMONETTI, 2011).

No entanto, verifica-se uma deficiência tanto na questão contextual quanto histórica, e o motivo pode estar associado ao fato de os professores dependem fortemente de livros didáticos para selecionar o conteúdo histórico para incluir em suas aulas de ciências físicas (Leite, 1986). Essa dependência pode ser devido à falta de educação formal que a maioria dos professores tem sobre a história da ciência. Atualmente, “a presença do livro didático como orientador dos trabalhos em sala de aula é uma realidade” (LOGUERCIO, DEL PINO, 1995, p.1), ainda mais a partir de 1985, quando surgiu o PNLD – Programa Nacional do Livro Didático.

O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) tem como principal objetivo subsidiar o trabalho pedagógico dos professores por meio da distribuição de coleções de livros didáticos aos alunos da educação básica. Após a avaliação das obras, o Ministério da Educação (MEC) publica o Guia de Livros Didáticos com resenhas das coleções consideradas aprovadas. O guia é encaminhado às escolas, que escolhem, entre os títulos disponíveis, aqueles que melhor atendem ao seu projeto político pedagógico.

Sendo o livro didático esse instrumento presente no processo de ensino-aprendizagem da química, é comum encontrarmos publicações que analisam algumas características dos livros tais como: recursos visuais, análise de obstáculos epistemológicos (animistas, realistas, verbais e substancialistas). Brush (2000) comenta que escritores de livros didáticos parecem não prestar atenção suficiente para a pesquisa histórica sobre a ciência. Niaz (2000) argumenta que a história da ciência é tratada nos livros didáticos de maneira inadequada. Isso ocorre não por limitações de espaço, mas sim por falta de conhecimento de história e filosofia da ciência.

Outros autores parecem ter ficado presos em algumas ideias históricas, sem perceber, que a ciência tem evoluído e que algumas analogias (históricas) que eles estão usando para apresentar determinados conteúdos já foram abandonadas por cientistas no passado (STOCKLMAYER, TREAGUST, 1994). De acordo com Leite (2002), a apresentação historicamente organizada do conteúdo ciência seria a maneira correta de dar aos alunos uma ideia adequada sobre a natureza da ciência, a forma como ele se desenvolve e de como os cientistas trabalham, apresentando evolução histórica real de alguns dos conceitos de ciência ou princípios que ela inclui, de modo que os alunos possam adquirir uma sensação de como a ciência evolui sob a influência de fatores internos e externos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A aprendizagem tem sido estudada, historicamente, desde o tempo dos filósofos gregos uma vez que a filosofia buscava investigar como as pessoas poderiam adquirir conhecimento. Esses estudos sobre aprendizagem têm sido realizados sob a ótica de abordagens psicológicas que podem ser classificadas de acordo com suas orientações teóricas: a *behaviorista* ou comportamentalista, a *cognitivista*, a *humanista* e a *social* (MERRIAM; CAFFARELLA, 1991).

Até 1950 a maioria dos psicólogos estudava o fenômeno da aprendizagem sob o foco *behaviorista*. Esse foi o modelo dominante de aprendizagem e, conseqüentemente, a orientação para o ensino por muitos anos (GILBERT, 2010). O *behaviorismo* surgiu, no começo do século XX, a partir das ideias de Watson, visando o comportamento como objeto de estudo da Psicologia. A aprendizagem é definida como uma mudança no comportamento, uma conexão entre estímulo (E) e resposta (R). O ensino é arranjo e planejamento de contingências de reforço (recompensas ou punições) sob as quais os alunos aprendem. O papel do professor comportamentalista é programar as contingências de reforço – que tem um papel fundamental no aprendizado – selecionando os estímulos adequados para conduzir o aluno ao comportamento desejado. Os mecanismos internos da mente são ignorados. (LEFRANCOIS, 2011).

Acontece que muitos psicólogos e cientistas não estavam satisfeitos com o *behaviorismo*. Uma vez que o mesmo revelou-se incapaz de explicar os resultados variados de ensino em sala de aula. Eles acreditavam que havia muito mais que estímulos e comportamento manifesto e que entre o estímulo fornecido e o comportamento observado, existiam os processos mentais do indivíduo. Em outras palavras, eles estavam preocupados com a cognição - o ato ou processo de conhecer. (GILBERT; WATTS, 1983). Assim surge o *cognitivismo* ou *construtivismo*, praticamente junto com o *behaviorismo*, em oposição a ele, e enfatiza o que é ignorado pelo *behaviorismo*: o processo de cognição, através do qual a pessoa atribui significados à realidade em que se encontra, como cita Varela (VARELA, 2007, p.36):

O construtivismo representa a posição mais desenvolvida e sustentada das vanguardas pedagógicas contemporâneas e alcançou um consenso emergente entre a comunidade acadêmica pedagógica e psicológica. Sem dúvida, o construtivismo pedagógico tem seus pilares nos mais importantes avanços dos estudos da epistemologia e psicologia durante o século XX, ao considerar o conhecimento como uma construção do ser humano e não como uma cópia da realidade e ao considerar a ciência como construtora e não como “descobridora” de realidades.

As principais linhas do construtivismo são o “construtivismo pessoal”, onde o indivíduo agindo sozinho é o lócus de aprendizagem; e o “construtivismo social”, onde as interações interpessoais são vistas como o lócus de aprendizagem (TABER, 2015).

O referencial teórico dessa pesquisa tem como base o construtivismo social. A ideia do russo Lev Semenovitch Vygotsky de que o aprendizado está relacionado com a aquisição de instrumentos e signos produzidos culturalmente (VYGOTSKY, 1984), foi determinante para essa escolha. Mas uma vez que a produção efetiva de Vygotsky restringe-se a um breve período de 10 anos, devido sua morte prematura, optamos por recorrer a outro aporte cognitivista, a Teoria dos Campos Conceituais do francês Gerard Vergnaud, para esclarecer ou até mesmo aprofundar alguns aspectos de sua teoria. Vergnaud foi orientado de Piaget, da linha do construtivismo pessoal, mas reconhece que sua teoria dos foi desenvolvida também a partir da contribuição de Vygotsky, uma vez que a atribui importância à interação social, à linguagem e à simbolização (MOREIRA, 2009). A escolha dessa teoria foi realizada devido ao importante papel que a representação simbólica e a internalização das mesmas desempenha no processo de aprendizagem de conceitos segundo esta teoria, o que vem de encontro com nossos objetivos de pesquisa.

3.1. A teoria sócio-histórica do desenvolvimento cognitivo de Lev Vygotsky

A teoria Sócio-histórica do desenvolvimento cognitivo do psicólogo russo Lev Semenovich Vygotsky (1896-1934) considera que é por meio da interiorização de instrumentos e sistemas de signos produzidos culturalmente que se dá o desenvolvimento cognitivo (VYGOTSKY, 1984). Três são os temas principais da Teoria de Vygotsky: a importância da cultura, o papel central da linguagem e a zona de desenvolvimento proximal (LEFRANCOIS, 2011). Segundo Beyer (1996, p. 49), “o pensamento de Vygotsky constitui um marco teórico indispensável das diferentes abordagens da prática psicopedagógica”.

Apesar de sua carreira restringir-se a apenas uma década (de 1924 a 1934) por causa de seu falecimento decorrente de uma tuberculose que o acompanhava desde os 20 anos, alguns de seus conceitos como “zona de desenvolvimento proximal”, “processos mentais superiores”, “mediação histórico-cultural da aprendizagem” são bem conhecidos e fazem parte de várias e discussões. Mesmo com uma carreira breve “suas contribuições à Psicologia deram novos rumos às pesquisas nesta área na época e tornaram-se elementares a compreensão do processo de desenvolvimento do indivíduo até os dias atuais” (RICHIT, 2004, p.3).

3.1.1 Os processos cognitivos e a mediação

Vygotsky classifica os processos cognitivos em dois níveis: processos mentais superiores e processos mentais inferiores. Vejamos a diferença entre ambos:

- a) Processos mentais inferiores: Esses processos são caracterizados pelo uso das funções mentais elementares, que são determinadas imediata e automaticamente pelos estímulos externos (por meio da percepção visual, por exemplo) ou pelos estímulos internos baseados nas necessidades biológicas (BEYER, 1996). São capacidades naturais, não aprendidas, como por exemplo, de funções mentais inferiores atenção, percepção, pensamento, memorização.
- b) Processos mentais superiores: Os processos mentais ou cognitivos superiores, também são denominados processos mediados. As chamadas funções mentais superiores construídas ao longo da história social do homem, na sua relação com o mundo. As relações sociais e culturais ocorrem entre o sujeito em desenvolvimento e o sujeito mediador. Pensamento, linguagem e comportamento volitivo são exemplos de funções mentais superiores.
- c) Mediação: processo de desenvolvimento das chamadas funções mentais superiores.

É através da mediação que se dá a internalização de atividades e comportamentos sócio-históricos. O desenvolvimento cognitivo, segundo essa teoria, não pode ser entendido sem referência ao contexto social e cultural no qual ocorre. Sem a cultura, o nosso funcionamento intelectual seria tão limitado quanto o dos primatas, formado apenas por funções mentais elementares. Quando a cultura e linguagem fazem parte do nosso meio, nos tornamos capazes de desenvolver as chamadas funções mentais superiores. Nas palavras do próprio Vygotsky (1998a, p.53):

A diferença essencial entre esse tipo de comportamento [superior] e as funções elementares será encontrada nas relações entre os estímulos e as respostas em cada um deles. As funções elementares têm como característica fundamental o fato de serem total e diretamente determinadas pela estimulação ambiental. No caso das funções superiores, a característica essencial é a estimulação autogerada, isto é, a criação e o uso de estímulos artificiais que se tornam a causa imediata do comportamento.

As funções mentais elementares são determinadas imediata e automaticamente pelos estímulos externos ou pelos estímulos internos baseados nas necessidades biológicas enquanto

as funções mentais superiores construídas ao longo da história social do homem, na sua relação com o mundo.

Beyer (1996) comenta que para Vygotsky os processos cognitivos superiores ou mediados são as formas de conhecimento que indicam a ocorrência de interações sociais e culturais entre o indivíduo em desenvolvimento e o indivíduo mediador. Para Vygostky a relação homem-mundo é mediada pelos instrumentos e signos desenvolvidos culturalmente. É através dessa mediação que ocorre a conversão das funções elementares para as funções superiores, e a partir desta transformação deixamos de ser apenas biológicos e nos tornamos sócio-históricos.

3.1.2 Instrumentos e Signos

A criação e uso de instrumentos e signos é uma característica exclusiva da espécie humana e desempenha um papel fundamental na existência da interação cultural e social, carregando em si os conceitos generalizados e elaborados pela cultura humana, porém com funções distintas. Enquanto o instrumento o conduz para a atividade humana externa, visando o controle e domínio da natureza, o signo orienta internamente, dirigindo o controle do próprio indivíduo (VYGOTSKY, 1998a).

a) Instrumentos

Pode ser definido como “algo utilizado para realizar alguma coisa” (MOREIRA, 1999, p.111). De uma forma mais ampla, “o instrumento é um elemento interposto entre o trabalhador e o objeto do seu trabalho, ampliando as possibilidades de transformação da natureza” (OLIVEIRA, M., 1993, p.29).

Assim, o uso de instrumentos configura-se como uma atividade realizada externamente que modela o pensamento durante o desenvolvimento. Esse uso é mediado, ou seja, o aprendizado do uso de instrumentos é em grande parte realizado sempre com o auxílio de outra pessoa mais capaz (professor), que inicia a criança (estudante) no uso desses instrumentos.

b) Signos

Um signo “é algo que significa alguma outra coisa” (MOREIRA, 1999, p.111). São considerados “[...] elementos que representam ou expressam outros objetos, eventos ou situações” (OLIVEIRA, M., 1993, p.30).

Para Vygotsky (1998a) devemos tratar o signo como uma representação direta do objeto a ser lembrado, uma marca externa que nos auxilia em tarefas que exigem memória ou atenção. Signos são interpretados como uma representação da realidade e podem referir-se a elementos ausentes. Por isso, utilizamos várias formas de signos em nosso cotidiano: fazer listas de compras e consultar mapas são exemplos de como recorremos à medição de signos para facilitar e melhorar a armazenamento de informações (OLIVEIRA M.,1993).

Segundo Moreira (1999, p.111) há três tipo de signos:

1) Indicadores são aqueles que têm uma relação de causa e efeito com aquilo que significam (e.g., fumaça indica fogo, porque é causada por fogo); 2) icônicos, são imagens ou desenhos daquilo que significam; 3) simbólicos, são os que têm uma relação abstrata com aquilo que significam.

Sobretudo para Vygotsky, os signos mais importantes são os simbólicos (por estarem diretamente ligados ao desenvolvimento das funções mentais superiores), como por exemplo: a palavra “caneta” é um signo que representa o objeto caneta, o número 7 é um signo para quantidade sete, o desenho de uma caveira em uma placa indica que existe perigo de morte. De acordo com o autor, o signo apresenta uma função interna análoga à função externa de instrumento, auxiliando a criança no controle do próprio comportamento.

De forma definitiva, o próprio Vygotsky estabelece a diferença entre instrumento e signo (VIGOTSKY, 1998, p.72):

A função do instrumento é servir como um condutor da influência humana sobre o objeto da atividade; ele é orientado externamente; deve necessariamente levar a mudanças nos objetos. [...] O signo, por outro lado, não modifica em nada o objeto da operação psicológica. Constitui um meio da atividade interna dirigido para o controle do próprio indivíduo; o signo é orientado internamente.

Vygotsky inicialmente critica definições de instrumentos e signos baseados em suas características generalizadoras, externas, comuns a diversos tipos de instrumentos e signos. A saber, estas características podem ser resumidas na utilidade de um instrumento e na função significativa do signo. Segundo o autor, não há grande valia em tentar definir estes dois

conceitos de forma geral, sem se observar sua verdadeira e efetiva função psicológica. Para Vygotsky, a “definição” de instrumento e signo só pode ocorrer ao se observar sua função no desenvolvimento cognitivo da criança, e é assim que ele procede, mais especificamente nos capítulos três e quatro. O ponto mais contundente na argumentação de Vygotsky na relação entre instrumento e signo, quando utilizado por crianças, desde a fase pré-escolar até adolescentes, é que o progressivo domínio do uso externo de instrumentos e da internalização de signos modifica profundamente a relação entre estímulo externo e resposta do organismo. Dessa forma, a criança passa a criar, gerar, modificações em sua estrutura psicológica de tal forma que a reação a estímulos externos é modulada pela ação simbólica; e ela também passa a apresentar e responder a estímulos autogerados.

A internalização do uso de signos a partir do uso de instrumentos externos seria, portanto, a genética das funções mentais superiores, descritas anteriormente. Para o autor, a memória é modificada e, por que não dizer, melhorada, após a internalização de signos quando a criança passa de uma fase pré-escolar (onde a memória é eidética – utilizando imagens muito próximas da percepção direta de fenômenos) até uma fase escolar, e o uso de instrumentos (cartões) onde existem representações pictóricas de signos são utilizadas como auxiliares na memorização. Mais adiante, durante a adolescência, até mesmo o uso de instrumentos (contendo representações de signos) pode ser descartada, pois o organismo já dispõe de um repertório de signos internalizados, bem como meios de associar signos a objetos externos e usar estes signos em uma tarefa de memorização. Assim, atingi-se o ápice do desenvolvimento cognitivo da função da memória. A definição de signo e instrumento, logo, está no seu papel crucial no desenvolvimento de funções mentais superiores – um ao internalizar-se e controlar o comportamento interno e outro ao controlar a natureza externa e auxiliar o homem no domínio da natureza.

3.1.3 O papel do signo na cognição e o processo de internalização

A primeira função do signo é, naturalmente, mediar a comunicação entre indivíduos. Porém, o signo desempenha funções fundamentais além do processo de mediação. Campello comenta sobre o papel do signo dentro do aporte vygotskyano:

Dentro da concepção de Vygotsky, um sistema de signos é um conjunto de representações de objetos, operações e significados que constitui uma verdadeira “caixa de ferramentas” do pensamento. Dependendo dos elementos particulares de

cada sistema, são definidos não apenas conteúdos específicos do pensamento, mas também a forma como o raciocínio se dá (2004, p.120).

Os signos têm uma origem social e desempenham um papel crucial no desenvolvimento individual: “o uso de signos conduz os seres humanos a uma estrutura específica de comportamento que se destaca do desenvolvimento biológico e cria novas formas de processos psicológicos enraizados na cultura” (Vygotsky, 1998 a, p.54).

Estes processos aos quais Vygotsky se refere são as funções mentais superiores, fruto do uso dos signos como linguagem. Os signos têm função primordial seu uso produz alterações profundas no funcionamento mental do homem, criando novas conexões: muda as formas de relação entre as funções elementares, produzindo outras mais complexas (OLIVEIRA, I., 2005).

A construção do sistema simbólico também é um fenômeno cultural, já que na perspectiva vygotskyana a relação indivíduo-sociedade é uma interação dialética. À medida que o sujeito transforma o seu meio é transformado por ele.

A composição e estruturação dos sistemas de signos de uma dada cultura dependem fundamentalmente da história específica da comunidade em questão e das necessidades as quais ela teve que enfrentar. Afinal, situações específicas levam à criação de instrumentos específicos para se lidar com elas. (CAMPELLO, 2004, p.120).

Nessa perspectiva, a inserção do indivíduo num determinado contexto cultural resulta no desenvolvimento dos processos mentais superiores de uma forma particular para cada caso. Os signos, segundo Oliveira (2005, p.6) “[...] alteram a relação do homem com a natureza, com os outros homens e consigo mesmo, na medida em que criam as condições para a atividade simbólica.” Além de sua função no desenvolvimento cognitivo dos seres humanos através da mediação, o signo possui outra função importante: a comunicação. Vygotsky comenta que: “Na ausência de um sistema de signos, linguísticos ou não, somente o tipo de comunicação mais primitivo e limitado torna-se possível” (1998b, p.5).

Os signos são partes integrantes da linguagem, que é considerada por Vygotsky (1998b, p.114) como sendo um sistema simbólico fundamental. A linguagem mediada por signos é utilizada externamente para comunicação entre pessoas e, internamente, na comunicação consigo mesmo:

[...] Todo signo, se tomarmos sua origem real, é um meio de comunicação e, poderíamos dizê-lo, mais amplamente, um meio de conexão de certas funções psíquicas de caráter social. Transladado por nós mesmos, é o próprio meio de união das funções em nós mesmos e poderemos demonstrar que sem este signo o cérebro e suas conexões iniciais não poderiam se transformar nas complexas relações, o que ocorre graças à linguagem.

Além de ser um meio de comunicação, Vygotsky (1998 b, p. 70) afirma que o signo também desempenha um papel importante no que se refere à formação de conceitos:

Todas as funções psíquicas superiores são processos mediados, e os signos constituem o meio básico para dominá-las e dirigi-las. O signo mediador é incorporado à sua estrutura como uma parte indispensável, na verdade a parte central do processo como um todo. Na formação de conceitos esse signo é a palavra, que em princípio tem o papel de meio na formação de um conceito e, posteriormente, torna-se o seu símbolo.

A especificidade humana, o que distingue o homem de outras espécies, origina-se, portanto, da vida em sociedade. A partir da internalização do sistema simbólico, o indivíduo deixa de depender de recursos externos para suas operações mentais:

Ao longo do processo de desenvolvimento, o indivíduo deixa de necessitar marcas externas e passa a utilizar signos internos, que constituem as representações mentais, e que substituem os objetos do mundo real. Os signos internalizados são como marcas exteriores, elementos que representam objetos, eventos, situações. O homem é capaz de operar mentalmente sobre o mundo: planejar, estabelecer relações, compreender, associar. A capacidade de lidar com representações que substituem o real possibilita ao homem libertar-se do espaço e do tempo presentes, efetuar relações mentais na ausência das coisas, imaginar e planejar intencionalmente (FREITAS, 2005, p.111).

Ao longo da evolução da espécie humana e do desenvolvimento de cada indivíduo ocorrem mudanças qualitativas fundamentais, que segundo Martha Oliveira são o processo de internalização e o desenvolvimento de sistemas simbólicos. “Ao longo do processo de desenvolvimento o indivíduo deixa de necessitar de marcas externas e passa a utilizar **signos internos**, isto é, **representações mentais que substituem os objetos do mundo real.**” (1993, p.34-5, grifo da autora)

[...] o significado de cada palavra é uma generalização ou um conceito. E como as generalizações e os conceitos são inegavelmente atos de pensamento, podemos considerar o significado como um fenômeno do pensamento (VYGOTSKY, 1998b, p. 150).

Martins, Raupp e Serrano (2008, p.16) exemplificam o processo de internalização:

Uma criança pequena, por exemplo, usa os dedos (instrumento) para realizar a operação de soma. À medida que esta operação é internalizada, os instrumentos são substituídos por signos internos (representações mentais). Quanto mais os signos são utilizados, mais vão modificando as operações psicológicas da qual ele é capaz e quanto mais instrumentos o indivíduo aprende usar, tanto mais se amplia a gama de atividades nas quais pode aplicar suas novas funções psicológicas.

A internalização será, portanto, o conceito chave para se compreender o desenvolvimento cognitivo dentro do aporte sociointeracionista, conforme explicitado pelo próprio Vygotsky na sua lei fundamental do desenvolvimento:

Todas as funções psicointelectuais superiores aparecem duas vezes no decurso do desenvolvimento da criança: a primeira vez, nas atividades coletivas, nas atividades sociais, ou seja, como funções intersíquicas: a segunda, nas atividades individuais, ou seja, como funções intrapsíquicas. (VYGOTSKY; LURIA; LEONTIEV, 2001, p. 114).

O processo de internalização segundo Vygotsky é “reconstrução interna de uma operação externa” (1998a, p. 74), e o domínio de um sistema complexo de signos não é alcançado de maneira puramente mecânica e externa; mas sim, por meio de um longo processo de desenvolvimento de funções complexas (1998 a, p.140).

As funções superiores, segundo Martha Oliveira (1993) são tipicamente humanas e estão fortemente baseadas nas maneiras culturalmente construídas de ordenar o real. A autora comenta que a possibilidade do ser humano em pensar objetos ausentes, imaginar eventos não vividos e planejar ações a serem realizadas, é um tipo de atividade psicológica superior. Estas atividades diferenciam-se das atividades mais elementares como ações reflexas, reações automatizadas ou processos de simples associação. E complementa: “[...] o homem transforma-se de biológico em sócio-histórico, num processo em que a cultura é parte essencial da constituição da natureza humana” (OLIVEIRA, M., 1993, p.24).

A relação homem-mundo é mediada pelos instrumentos e signos desenvolvidos culturalmente, fazendo com que o homem se distinga dos outros animais nas suas formas de agir no e com o mundo. É através dessa mediação que ocorre a conversão das funções elementares para as funções superiores, e a partir desta transformação deixamos de ser apenas biológicos e nos tornamos sócio-históricos. Conforme comenta Vygotsky essa transformação não é um processo natural e inato:

A natureza do próprio desenvolvimento se transforma, do biológico para o sócio-histórico. O pensamento verbal não é uma forma de comportamento natural e inata, mas é determinado por um processo histórico-cultural e tem propriedades e leis específicas que não podem ser encontradas nas formas naturais do pensamento e da fala (1998b, p.63).

A criação e uso de instrumentos e signos é uma característica exclusiva da espécie humana e desempenha um papel fundamental na existência da interação cultural e social, carregando em si os conceitos generalizados e elaborados pela cultura humana, porém com funções distintas. Enquanto o primeiro conduz para a atividade humana externa, visando o controle e domínio da natureza, o segundo orienta internamente, dirigindo o controle do próprio indivíduo.

Para que esse domínio ocorra, é necessária a formação de uma zona de desenvolvimento proximal entre aluno e professor.

3.1.4 Zona de desenvolvimento Proximal

Além da mediação dos instrumentos e signos, a teoria Vygotskyana possui mais um conceito importante no que tange a aprendizagem: o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal – ZDP. Esse conceito define “a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes” (VYGOTSKY, 1984, p.97). Em outras palavras, o desenvolvimento potencial, é a série de informações que a pessoa tem a potencialidade de aprender, mas ainda não completou o processo; são conhecimentos fora de seu alcance atual, mas potencialmente atingíveis.

É na zona de desenvolvimento proximal que acontecem as interações para a construção do conhecimento ou da aprendizagem. Sendo, portanto, dinâmica e em constante mudança. Dessa forma, “ao programar suas aulas, seria indicado que o professor considerasse a existência de uma ZDP e instaurasse um processo constante de negociação de significados” (OLIVEIRA, GOUVEIA, QUADROS, 2009, p.24), além de desenvolver meios para “propor desafios adequados e pertinentes atuando na zona de desenvolvimento proximal” (LOCH, 2000, p.32).

3.1.5 A mediação dos signos na estereoquímica⁶

Dentre os tipos de signos, para Vygotsky, os mais importantes são os simbólicos por estarem diretamente ligados ao desenvolvimento de funções mentais do pensamento e da linguagem. Para o autor, “a verdadeira essência da memória humana está no fato de os seres humanos serem capazes de lembrar ativamente com a ajuda de signos” (1998 a, p. 68).

É por essa mediação que se dá a internalização que pode ser definida como reconstrução interna de uma operação externa (VYGOTSKY, 1998a, p.74). Podemos inferir que essa reconstrução interna está associada com as habilidades visuais, uma vez que utilizamos representações externas para adquirirmos as representações internas. O desenvolvimento dessas habilidades de manipulação mental de estruturas moleculares está relacionado à aquisição e internalização desses sistemas simbólicos, que segundo a teoria da mediação de Vygotsky, possibilitará o desenvolvimento cognitivo (VYGOTSKY, 1998b). Sendo assim, o papel das representações em estereoquímica é o de possibilitar a internalização de um sistema simbólico próprio; e o papel do professor é mediar esse processo utilizando representações adequadas e propondo questões que possibilitem o desenvolvimento desse sistema, auxiliando a resolução desses problemas considerados de difícil resolução.

Os signos simbólicos, no ensino de Química, fazem a ponte entre o abstrato e o real através das representações. O sistema simbólico da Química é muito rico, e ao longo do desenvolvimento histórico da Química, foi sofrendo grandes transformações de modo a comunicar os conceitos de uma forma cada vez mais concisa (RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009). Essas mudanças podem ser observadas a partir da evolução dos primeiros desenhos primitivos utilizados pelos alquimistas até os de hoje, em três dimensões, gerados por computador (HABRAKEN, 2004). Sendo assim, o processo de geração de representações químicas e conceitos associados a estas representações podem ser explanados dentro de uma perspectiva sócio-histórica.

Uma vez que o desenvolvimento das funções mentais do pensamento está ligado à internalização de signos simbólicos, e que essa internalização permite operar mentalmente mesmo na ausência da representação externa, torna-se claro a necessidade do desenvolvimento

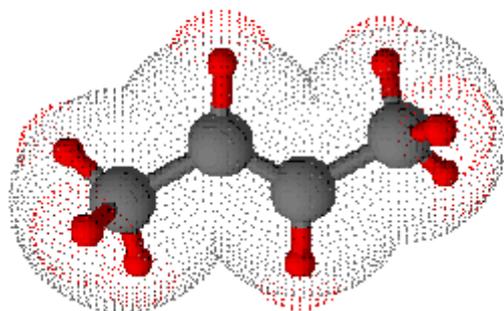
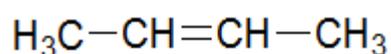
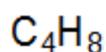
⁶Esse subcapítulo faz parte do artigo apresentado: RAUPP, D. T., DEL PINO, J. C. **Aprendizado de estereoquímica mediado por representações tridimensionais: uma perspectiva vygotskyana.** I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática; Tandil, Argentina, 2011.

da capacidade de internalização desses signos simbólicos dentro do processo de ensino, para que a resolução de problemas estereoquímicos deixe de ser um entrave no processo de aprendizagem.

Como o domínio é alcançado por meio de um longo processo de desenvolvimento de funções complexas, para que esse domínio ocorra, é necessária a formação de uma ZDP entre aluno e professor. As atividades propostas e a forma como o professor apresenta o conceito e orienta a resolução de problemas que possibilitará o aluno completar o processo de aprendizagem de estereoquímica. Em resumo, essa ZDP irá promover a internalização desse sistema de signos.

Por tratar especificamente de aspectos moleculares tridimensionais torna-se natural que essa internalização subjaz a utilização em sala de aula de representações nos níveis 2D e 3D, bem como suas relações. Uma abordagem benéfica para a compreensão de conceitos que pode ser aplicada em sala de aula é a utilização de modelos concretos, ilustrações, animações, modelagem e simulações (TASKER; DALTON, 2006; CHITTLEBOROUGH; TREAGUST, 2007). De forma similar aos modelos concretos, as ferramentas de construção de modelos moleculares podem auxiliar nas dificuldades que os estudantes possuem em visualizar estruturas moleculares 3D. Wu e Shah (2004) afirmam que a experiência com a manipulação de modelos auxilia os alunos na resolução de problemas químicos. A figura 12 mostra exemplos de representações construídas com o Software ChemSketch.

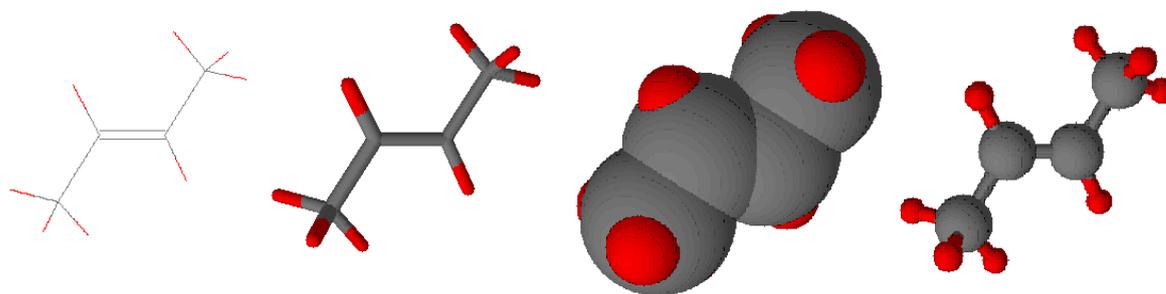
Figura 12 - Diferentes representações da molécula trans, but-2-eno.



Fonte: Autora (2012).

Em geral, as representações 3D mais utilizadas são: Wireframe (modelo em forma arames), Sticks (modelos semelhante a varetas) e Spacefill (modelo de espaços preenchidos pelos orbitais) Balls and Sticks (modelo de bolas e varetas). A representação tridimensional, desses quatro tipos, como pode ser observada na Figura 13 (molécula but-2-eno), permite a percepção de detalhes como geometria molecular, comprimentos e ângulos de ligação. A percepção desses detalhes é de grande utilidade para a Química, uma vez que representação molecular gráfica permite identificar as diferenças entre moléculas (HABRAKEN, 2004).

Figura 13 - Representações Sticks, Wireframe, Spacefill e Balls and sticks



Fonte: Autora (2012).

As múltiplas representações possíveis para uma mesma molécula podem ter diferentes impactos no processo de internalização e ter vantagens particulares. Os modelos de bolas e varetas são os mais concretos e visualizáveis, enquanto os modelos de arames podem ser muito abstratos, mostrando apenas cadeias de carbono (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2000). Mas se tratando especificamente das ligações da molécula, o modelo de arames⁷ é o que permite a visualização de ligações simples, duplas e triplas.

A primeira função do signo é, naturalmente, mediar à comunicação entre indivíduos. Porém, o signo desempenha funções fundamentais além do processo de mediação. Campello comenta sobre o papel do signo dentro do aporte vygotskyano:

Dentro da concepção de Vygotsky, um sistema de signos é um conjunto de representações de objetos, operações e significados que constitui uma verdadeira “caixa de ferramentas” do pensamento. Dependendo dos elementos particulares de cada sistema, são definidos não apenas conteúdos específicos do pensamento, mas também a forma como o raciocínio se dá (2004, p.120).

⁷Em alguns Software apenas o modelo Wireframe possibilita a visualização diferente para as ligações simples, duplas e triplas, como é o caso do ChemSketch da ACDLabs utilizado na representação das moléculas das Figuras 2 e 3.

Na verdade, o processo de explicar o fenômeno de uma solução ou problema através de um modelo diferente, muitas vezes sugere novas relações e insights. Alguns modelos têm um nível de detalhadamente maior que outros e cabe ao professor, conhecendo o nível de desenvolvimento cognitivo dos alunos, propor modelos mais adequados para o processo de aprendizagem. Dependendo desse nível de desenvolvimento, o estudante é capaz de imaginar um modelo a partir da fórmula estrutural desenhada. Nesses casos, os modelos 3D podem ser facilmente substituídos por projeções (como as de Newman e de Fischer). O uso da representação adequada é um grande desafio para professores.

Uma recomendação para o ensino secundário e ensino superior é que no início de educação química é essencial para o professor enfatizar aos alunos que a compreensão desses símbolos, fórmulas ou modelos são representações de diferentes propriedades de uma molécula ou substância e não uma cópia de qualquer coisa (TREAGUST, DUIT, NIESWANDT, 2000 p.231).

3.2 Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud

A Teoria dos Campos Conceituais foi desenvolvida na década de 70 pelo psicólogo e matemático francês Gerard Vergnaud. Discípulo de Jean Piaget e Lev Vygotsky, Vergnaud defende a “*complementariedade*” entre ambos teóricos. Atualmente é diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) da França. Pertencente à tradição piagetiana - terminou sua tese orientada por Piaget em 1968 - que procura investigar o sujeito do conhecimento em resposta a uma situação de ensino. No entanto, procura redirecionar o foco piagetiano do sujeito epistêmico para o do sujeito-em-situação (CARVALHO, AGUIAR, 2008).

A Teoria dos Campos Conceituais “é uma teoria cognitivista, que busca propiciar uma estrutura coerente e alguns princípios básicos ao estudo do desenvolvimento e da aprendizagem de competências complexas, sobretudo as que dependem da ciência e da técnica” (VERGNAUD, 1993, p.1). Como toda a teoria cognitivista, a ênfase está nos processos cognitivos; ocupa-se de como o indivíduo constrói sua estrutura cognitiva. A TCC busca entender melhor quais são os problemas de desenvolvimento específicos de um determinado campo de conhecimento.

A TCC postula que a essência do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização (VERGNAUD, 1996a). O significado de conceitualização nessa perspectiva é compreendido como o processo de formação ou construção de conceitos. Sendo assim, é uma teoria psicológica de conceitos, na qual a conceitualização é considerada a pedra angular da cognição (VERGNAUD, 1998). Nesse processo de progressivo domínio de um campo conceitual pelos alunos, para o professor, a tarefa mais difícil é a de prover oportunidades aos alunos para que desenvolvam seus esquemas e superem suas dificuldades:

A tese subjacente à Teoria dos Campos Conceituais é, todavia a de que um bom desempenho didático baseia-se necessariamente no conhecimento da dificuldade relativa das tarefas cognitivas, dos obstáculos habitualmente enfrentados, do repertório de procedimentos disponíveis e das representações possíveis (1993, p.17).

Assim, conforme discutido anteriormente, parece-nos que os obstáculos enfrentados na aquisição de conceitos no campo da estereoquímica são as dificuldades relativas à visualização e além da motivação do aluno para aprendizagem. A seguir trataremos dos principais conceitos desta Teoria: Campo Conceitual; Esquema; Conceitualização; Conceito e seu triplete situação – representação – invariantes.

3.2.1 Campo Conceitual

Uma das particularidades marcantes neste aporte teórico é que não se veem conceitos como entidades isoladas, mas entrelaçadas entre si. Para Vergnaud, o conhecimento está organizado em um conjunto de situações e conceitos, denominado Campo Conceitual. Na qual a palavra situação não tem o sentido de situação didática, mas de tarefa cognitiva (1993).

Vergnaud considera o campo conceitual como uma unidade de estudo para dar sentido às dificuldades observadas na conceitualização do real e, como foi dito antes, a teoria dos campos conceituais supõe que a conceitualização é a essência do desenvolvimento cognitivo (MOREIRA, 2002, p.10).

Os campos conceituais são caracterizados pela presença de conceitos, procedimentos, linguagens e representações simbólicas. Campo Conceitual é definido como um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e

operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição. (VERGNAUD, 1982, p. 40).

Existem basicamente três justificativas apresentadas por Vergnaud (1983 a, p. 393, 2007, p.288) para que se utilize o conceito de campo conceitual compreensão do processo de aquisição de conhecimento:

a) Um conceito não se forma a partir de um só tipo de situação;

b) Uma situação não se analisa com um só conceito;

c) A construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se estende ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes.

Em suma, esse é a motivação pela qual não se estudam situações isoladas ou conceitos isolados, mas sim Campos Conceituais. Segundo Moreira (2002, p.10), Vergnaud considera útil falar em distintos campos conceituais se eles puderem ser consistentemente descritos. Na Química, temos por exemplo o campo conceitual da Química Inorgânica ou da Físico-química, que são formados por outros campos.

Os campos conceituais não são campos independentes, totalmente distintos. Determinados campos podem ser imprescindíveis para a compreensão de outros. A TCC conjectura que é praticamente impossível estudar um conceito de maneira isolada, compartimentada. Estes campos conceituais menores são unidades substancialmente proveitosas para possibilitar a evolução dos conhecimentos (VERGNAUD, 1983a).

O domínio de um campo conceitual é algo progressivo e esse domínio demanda o uso de uma variedade de conceitos, de esquemas e de representações simbólicas, todos em estreita conexão (VERGNAUD, 1996a). Para o domínio do campo da estereoquímica, por exemplo, antes de compreender como uma mesma fórmula molecular dá origem a diferentes compostos é preciso compreender conceitos como átomo, molécula, ligações químicas (simples, duplas); e representações como as de fórmulas químicas, fórmulas estrutural plana e espacial, estruturas bi e tridimensionais, para somente então compreender o conceito de estereoquímica como um todo. Consequentemente, o campo conceitual que engloba o conceito de estereoquímica é delimitado pelos conceitos, situações, representações que fazem a área. (RAUPP, DEL PINO,

2010). Para que esse processo ocorra os estudantes devem utilizar seus esquemas de assimilação, ponto do referencial de Vergnaud que é herdado de Piaget.

3.2.2 Esquema

Vergnaud define esquema de acordo com a visão de Piaget: organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações (1990, 1993). A diferença entre os ambos é que fundamentalmente, para Piaget, o foco é na interação sujeito-objeto e para Vergnaud os esquemas referem-se a situações (1996c), e seu foco é na interação esquema-situação. “Sem esquemas e sem situações não se pode compreender o desenvolvimento do pensamento” (VERGNAUD, 2007, p.288, tradução nossa).

Quanto maior o repertório de esquemas utilizado para resolver uma determinada situação maior o desenvolvimento cognitivo do indivíduo, uma vez que os esquemas estão associados às situações:

Decorre daí que o desenvolvimento cognitivo consiste sobretudo, e principalmente, no desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas. Este repertório afeta esferas muito distintas da atividade humana e quando analisamos, por exemplo, os conteúdos da competência profissional de um indivíduo frequentemente observamos que junto a competências técnicas e científicas, propriamente ditas, estão, com peso considerável, competências sociais e afetivas. (MOREIRA, 2002, p.12).

Vergnaud utiliza os chamados de ingredientes dos esquemas para defini-los (1990, p. 136, 142; 1994, p.46; 1996a, p. 113-114; 1996b, p. 11; 1996c, p. 201-202-206; 1998, p. 173). Esses ingredientes são:

- **metas e antecipações** (um esquema se dirige sempre a uma classe de situações nas quais o sujeito pode descobrir uma possível finalidade de sua atividade e, eventualmente, submetas; pode também esperar certos efeitos ou certos eventos);
- **regras de ação do tipo "se ... então"** que constituem a parte verdadeiramente geradora do esquema, aquela que permite a geração e a continuidade da sequência de ações do sujeito; são regras de busca de informação e controle dos resultados da ação;
- **invariantes operatórios** (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) que dirigem o reconhecimento, por parte do indivíduo, dos elementos pertinentes à situação; são os conhecimentos contidos nos esquemas; são eles que constituem a base, implícita ou

explícita, que permite obter a informação pertinente e dela inferir a meta a alcançar e as regras de ação adequadas;

- **possibilidades de inferência** (ou raciocínios) que permitem "calcular", "aqui e agora", as regras e antecipações a partir das informações e invariantes operatórios de que dispõe o sujeito, ou seja, toda a atividade implicada nos três outros ingredientes requer cálculos "aqui e imediatamente" em situação.

3.2.3 Conceito de “Conceito”

A definição de conceito segundo a TCC que revela a importância das situações didáticas, das representações e das operações (com estas representações) que são invariantes dentro da ação psicológica do sujeito ao se deparar com uma classe de situações semelhantes. Assim sendo, um conceito é considerado tríade que pode ser representada da seguinte forma: C=SIR (Conceito = Situação, Invariantes operatórios e representações simbólicas). O fato de considerar o conceito como uma tríade de diferentes elementos tem a implicação de que se deve considerar sempre esta tríade simultaneamente (MOREIRA, 2002). Resumidamente, “há um conjunto de situações que dão sentido ao conceito; um conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito e um conjunto de significantes que podem representar os conceitos e as situações que permitem aprendê-los” (VERGNAUD, 1983a, p. 393).

a) Situação

A situação ou referente é o “conjunto das situações que dão sentido ao conceito” (VERGNAUD, 1993, p.8). E o sentido dos conceitos está na situação em si. “Um conceito se torna significativo para um sujeito através de uma variedade de situações e de diferentes aspectos de um mesmo conceito que estão envolvidos nestas situações” (VERGNAUD, 1994, p.46). Outro sentido utilizado para definir situação é o mesmo atribuído pelos psicólogos: os processos cognitivos e as respostas do sujeito ocorrem em função das situações com as quais são confrontados (1990, p.150,1993 p.12).

Os esquemas referem-se necessariamente a situações, ou classes de situações, Vergnaud (1993, p. 2) considera a existência de duas classes de situações que ele distingue entre:

- Aquelas situações para as quais o sujeito dispõe em seu repertório das competências necessárias para o tratamento imediato da situação.

→ Aquelas situações para as quais o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que lhe obriga um tempo de reflexão e de exploração de todas as tentativas abordadas e lhe conduz eventualmente ao êxito ou ao fracasso.

Como são as situações que dão sentido ao conceito, ou seja, as situações é que são responsáveis pelo sentido atribuído ao conceito (BARAIS; VERGNAUD, 1990), pode-se ponderar que o conceito de estereoquímica só surgiu após a comunidade química se deparar com o “problema dos isômeros”. Ou seja, uma situação na qual um mesmo composto, com a mesma fórmula e composição química apresentava funções físicas, químicas e até mesmo biológicas diferentes. Dessa forma, é impossível atribuir um sentido ao conceito de estereoquímica sem que as situações científicas de diferenciação de isômeros sejam reconhecidas como situações pelo sujeito.

b) Invariantes operatórios

Os invariantes operatórios podem estar associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes, podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações. São componentes essenciais dos esquemas (VERGNAUD, 1998) e determinam as diferenças entre eles; são classificados em dois tipos: conceito-em-ação e teorema-em-ação designam os conhecimentos contidos nos esquemas.

Os invariantes são classificados de acordo com TCC em Teoremas e Conceitos em ação. “Teorema-em-ação é uma proposição tida como verdadeira sobre o real. Conceito-em-ação é um objeto, um predicado, ou uma categoria de pensamento tida como pertinente, relevante” (1996c, p. 202; 1998, p. 168). Aqui, neste trabalho, iremos dar preferência à denominação geral de invariantes operatórios. A razão que nos leva a isto é que Vergnaud, ao definir teoremas e conceitos em ação, investiga as operações realizadas por estudantes mentalmente ou em um papel ao resolver situações matemáticas (estruturas aditivas e multiplicativas). Assim, ele observa o uso e atribuições do conceito de soma ou multiplicação em ação (operar com representações de números), e define o que são conceitos e teoremas em ação.

Todavia, o foco de investigação dessa tese é mais abrangente e reside na definição mais ampla dos invariantes operatórios ou significado do conceito como “conjunto das [operações] invariantes em que se baseia a operacionalidade dos esquemas” (VERGNAUD, 1993, p.8). Ou seja, o conjunto de operações que envolve a capacidade de visualizar e manipular moléculas tridimensionalmente. Isso porque de acordo com a revisão da literatura em Educação Química

realizada, parecem-nos que as operações, por assim dizer, invariantes são específicas à visualização e manipulação mental de moléculas.

Um exemplo que poderíamos citar invariante operatório no campo de estudo é, por exemplo, a rotação mental de um objeto espacial (molécula), a fim de visualizar grupos em locais não visíveis inicialmente. Uma vez que o estudante seja capaz de construir e manipular um estereoisômero mentalmente, ele pode ser capaz de repetir as mesmas operações mentais para a mesma classe de isômeros (ou olefinas ou cicloalcanos). Por isso o foco nesse conjunto reside apenas como operações mentais invariantes durante a ação de resolver uma situação de estereoquímica, ou seja, invariantes operatórios.

c) Representação

“O conjunto das formas de linguagem (ou não) que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento” (VERGNAUD, 1993, p.8) é definido como o conjunto das representações na TCC. Esse conjunto de representações simbólicas pode conter linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc. que podem ser usadas para indicar e representar os invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas (MOREIRA, 2002). Em Química existe um conjunto de formas de linguagem que representam simbolicamente os conceitos da área e que são vastamente utilizados, como fórmulas, modelos, gráficos, reações, etc. Assim, a questão da representação simbólica é considerada essencial para o ensino de Química.

Vergnaud faz parte dos teóricos que consideram a existência de uma mediação entre a representação simbólica e os objetos do mundo material (FRANCHI, 1999). Isso porque a representação simbólica pode ajudar o estudante a resolver problemas que eles não conseguiriam resolver sem a ajuda da mesma (VERGNAUD, 1982). Dessa forma, a representação mantém um significativo vínculo com o desenvolvimento conceitual. Vergnaud (1982) enfatiza a importância da representação simbólica, que é considerada mais que uma linguagem que permite a conceitualização. Para o autor da TCC a representação é uma forma de representar claramente o problema e deve ajudar os estudantes a resolver problemas que, sem o auxílio dessas representações não seria capaz de resolver. Assim, a representação é fundamental para a formação dos conceitos.

Dessa forma, considera-se que assim como há problemas mais facilmente resolvíveis do que outros, ou procedimentos mais fáceis do que outros, haveria representações simbólicas mais potentes do que outras (VERGNAUD, 1982). Essa afirmação é determinante para a escolha dos tipos e formas de representações diversas que podem ser mais potentes para determinadas situações-problema em química.

3.2.4 Conceitualização

Para Vergnaud (1990,1998), o problema central da cognição é a conceitualização e considera que “a conceitualização pode ser definida como a identificação de objetos do mundo, suas propriedades, relações e transformações; essa identificação pode ser direta ou semidireta, ou resultantes de uma construção” (2007, p.299, tradução nossa).

Existe uma relação entre a conceitualização e a resolução de problemas como comenta Vergnaud: “um problema não é um problema para um indivíduo a menos que ele ou ela tenha conceitos que o/a tornem capaz de considerá-lo como um problema para si mesmo” (1994, p. 42, tradução nossa).

Toda vez que um sujeito resolve um problema significa que ele desenvolveu um eficiente esquema para tratá-lo, desaparecendo assim o caráter problemático referente à esta situação. Deste modo, da próxima vez que o sujeito estiver diante de um novo problema, será capaz de reconhecer ou considerar como um novo problema. Por isso, a conceitualização é considerada um processo cíclico e dialético (GASTALDO, 2007).

Para Vergnaud, a conceitualização é sempre referente ao que o mesmo chama de “real”, ou seja, não em categorias lógicas gerais piagetianas, mas em cima de situações específicas e apenas referentes a elas e não a outras. O processo de conceitualização do real permite localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual (1990). Segundo Vergnaud, conceitualização é a identificação dos objetos do mundo e suas propriedades e relações diretamente acessíveis.

O domínio do conceito ou a conceitualização ocorre em longo prazo, assim, o conhecimento é construído ao longo do tempo, durante toda a vida. O domínio de determinado campo conceitual desenvolve-se durante um longo período de tempo por meio da experiência, maturação e aprendizagem que resulta em uma progressiva compreensão deste campo.

O conhecimento dentro do paradigma da TCC é considerado como adaptação. O desenvolvimento do conhecimento é sistemático e oportunista. Sistemático por que ocorre ao longo de um período de tempo, não determinado, como os estágios de desenvolvimento mental de Piaget e oportunista porque os recursos utilizados para devem ser adaptáveis a nova situação. Um conceito não se aprende sozinho, mas apoiado a outros conceitos.

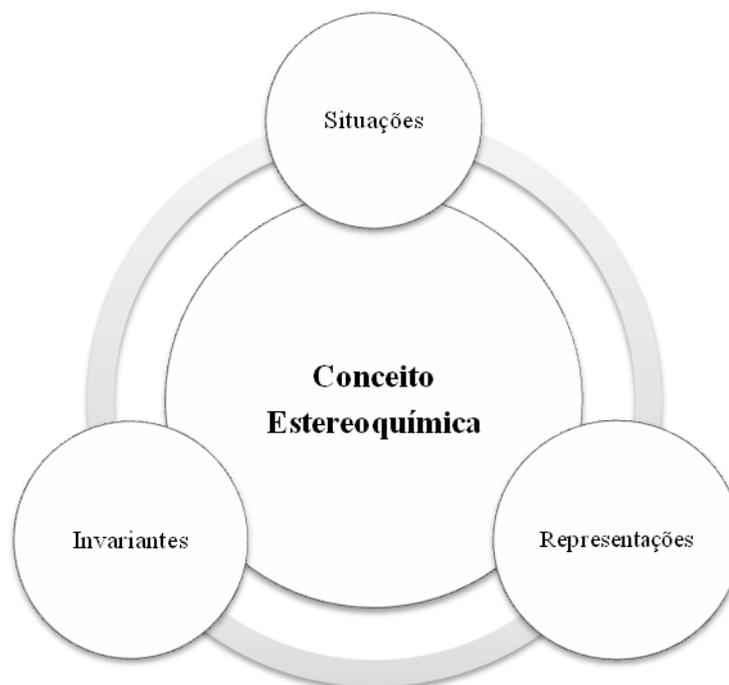
Pode-se perceber a partir do que foi discutido comparando-se Piaget e Vergnaud no que se refere à conceitualização e a noção de esquema, que Vergnaud, ao contrário de Piaget, não procura construir uma teoria geral para o desenvolvimento. Ao contrário, procura relacionar o desenvolvimento do sujeito com as tarefas que este é levado a resolver. Nota-se que, para ele, a cognição possui um componente fortemente ligado às situações. O autor afirma que o processo de desenvolvimento cognitivo, por ser fortemente dependente das situações a serem enfrentadas pelo sujeito, tem como cerne a construção de conceitos. A conceitualização é um processo longo, que requer uma diversificação das situações. Vergnaud diz que “na verdade, os conceitos se desenvolvem por meio da resolução de problemas, e esse desenvolvimento é lento” (1983b, p. 172, TRADUÇÃO NOSSA).

Quanto à aquisição do conhecimento científico pelo ser humano, Vergnaud (1990) afirma que a aquisição se dá mediante um processo de construção, na qual a conceitualização do real tem um papel fundamental. Segundo este autor, é pela conceitualização que o conhecimento se torna operatório, generalizável, características genuínas ao conhecimento científico, que o distancia de um conhecimento de senso comum.

3.2.5 O Campo Conceitual da Estereoquímica

Tomando como base a tríade C=SIR, buscou-se identificar quais são as situações, os invariantes operatórios e as representações utilizadas no domínio do campo conceitual da Estereoquímica (Figura 14).

Figura 14 - Tríade para formação de conceitos em estereoquímica.

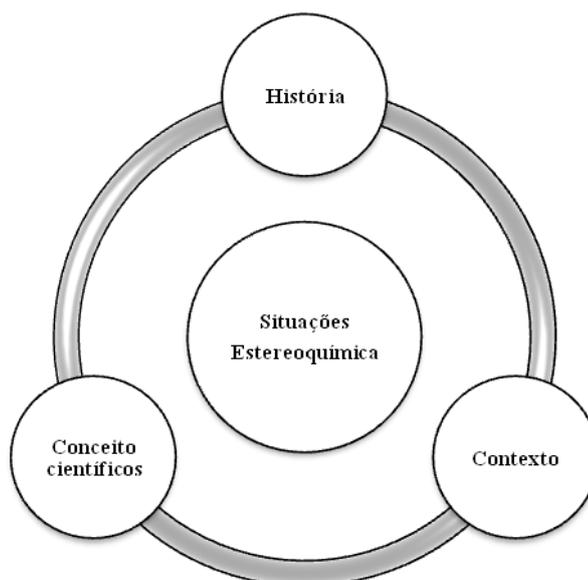


Fonte: Autora (2012).

Cada um desses componentes presentes no processo de aprendizagem em estereoquímica pode ser descritos da seguinte forma:

a) Situações que dão sentido ao conceito: São as situações que facilitam o processo de conceitualização e dão sentido ao conceito (VERGNAUD, 1994). Isso porque “quando um estudante depara-se com situações que dão sentido ao conceito, essa informação entra em interação com a estrutura dos conhecimentos-em-ação dos esquemas que cada estudante dispõe. Assim, suas respostas serão uma aproximação de sua estrutura conceitual e variarão de acordo com seu nível de desenvolvimento conceitual” (DE OLIVEIRA GRINGS, CABALLERO, MOREIRA, 2007. p.464). Um conceito torna-se significativo para o indivíduo por meio de uma variedade de situações (VERGNAUD, 1994). No que se refere há situações em estereoquímica, além das situações que envolvem o conhecimento científico relacionado à compreensão de estruturas, nomenclatura, etc., existem situações relacionadas ao cotidiano do aluno e a história do tema (Figura 15).

Figura 15 - História, contexto e conceitos científicos interligados.



Fonte: Autora (2012).

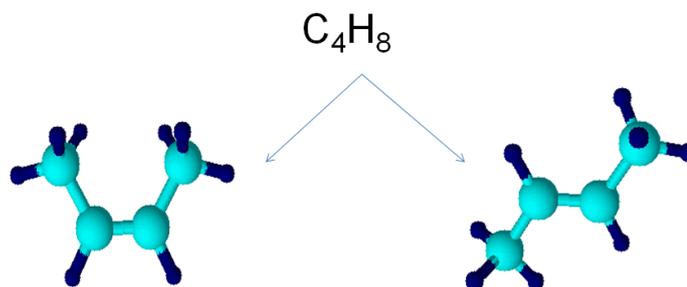
As situações propostas no estudo desse campo, uma vez que tem a função de “dar sentido ao conceito” podem ser abordadas de modo há integrar os conceitos científicos com a história e o contexto.

Trazer o cotidiano do aluno para sala de aula, mostrar que o conhecimento tecnocientífico tem relação direta com seu dia a dia é um dos desafios que nós professores temos dentro de sala de aula (FRANÇA, 2005, p.11).

b) Invariantes operatórios: Os invariantes operatórios ou o significado do conceito é um “conjunto das operações invariantes em que se baseia a operacionalidade dos esquemas” (VERGNAUD, 1993, p.8). Em resumo, para resolver uma situação que demanda a compreensão de estruturas 3D em estereoquímica os estudantes precisam “converter” a fórmula química em sua estrutura molecular, visualizar a possível configuração tridimensional e comparar as estruturas.

No caso dos isômeros do 2-buteno: a fórmula para ambos é C_4H_8 . A representação simbólica não é o suficiente para explicar o fenômeno, pois através dessa representação podemos dizer que o composto C_4H_8 é exatamente igual a outro composto também com a mesma fórmula. Mas ao visualizarmos suas fórmulas estruturais e/ou 3D modelos como na Figura 16, a seguir, a diferenciação é mais evidente.

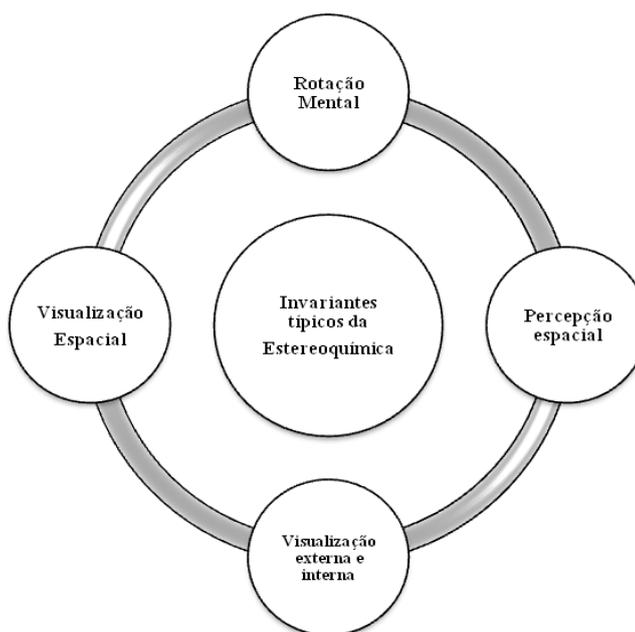
Figura 16 - Estereoisômeros 2-butenos.



Fonte: Autora (2012).

A sequência de operações, que não variam e serão aplicadas em todas as situações semelhantes envolvem as habilidades espaciais (Figura 17).

Figura 17 - Invariantes utilizados em estereoquímica.

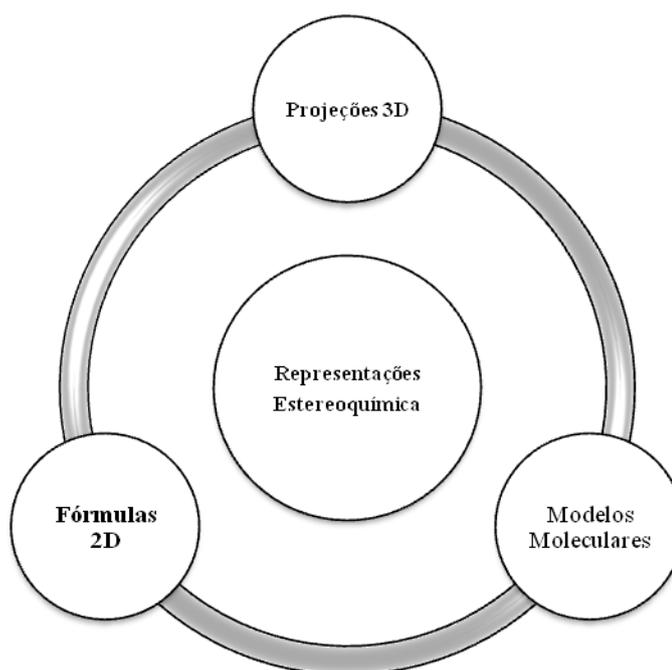


Fonte: Autora (2012).

O processo de resolução de problemas em estereoquímica envolve em primeiro lugar a habilidade de visualizar uma representação externa, e a partir dessa construir uma imagem mental que represente a estrutura e permita manipulá-la mentalmente.

c) Representações: O conjunto das representações simbólicas ou significantes é “conjunto das formas de linguagem (ou não) que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento” (VERGNAUD, 1993, p.8). Na Figura 18 encontram-se as representações usuais nesse campo.

Figura 18 - Representações em estereoquímica.



Fonte: Autora (2012).

As representações utilizadas na comunicação de conceitos em estereoquímica envolvem o uso de estruturas 2D, projeções 3D e modelos moleculares representados geralmente por meio do modelo bolas e palitos.

Essas seriam as representações externas utilizadas nesse campo conceitual. Segundo Zhang (1997, p.179) as representações externas desempenham papéis importantes em nossas tarefas do cotidiano “tais como a multiplicação com papel e lápis, compras de supermercado com uma lista escrita, resolução de problema geométrico, gráfico raciocínio, compreensão diagramática, jogar xadrez, e assim por diante”. Já as representações internas, ou representações mentais, são maneiras de “re-presentar” internamente o mundo externo (MOREIRA; LAGRECA, 1998).

Já projeções representam a forma 3D no papel e auxiliam na compreensão do arranjo espacial molecular, quando não é possível se utilizar outros meios como modelos concretos ou computacionais (RAUPP, 2010). Seu uso propiciou uma maneira de se estudar e entender melhor a estrutura molecular invisível a nossos olhos, uma vez que proporcionou uma forma de representá-las. Com o aprendizado dessa forma de representação o químico não precisa mais ter o modelo concreto em suas mãos, ele consegue imaginá-lo a partir da fórmula estrutural desenhada. (ROQUE; SILVA, 2008). Mas em alguns casos específicos e com determinados estudantes as projeções não são suficientes para fazer a conexão com a estrutura tridimensional.

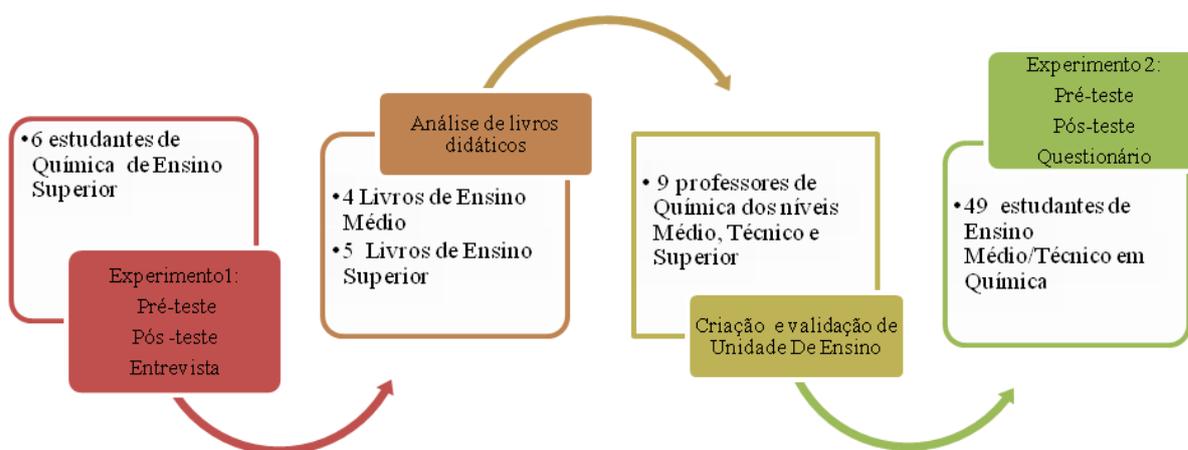
As múltiplas representações possíveis para uma mesma molécula podem ter diferentes impactos no processo de visualização e conseqüentemente ter vantagens particulares. Como os modelos de bolas e varetas que são considerados os mais concretos e visualizáveis (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001).

A utilização apenas das fórmulas 2D, do uso de modelos 3D, pode dificultar a compreensão de estudantes que não estão familiarizados com a visão tridimensional de moléculas, conforme abordado anteriormente. É recomendado, portanto, o das representações “mais poderosas”, ou seja, a que fornece o maior número de informações sobre a estrutura.

4 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa foram organizados em 4 diferentes etapas, com amostragem distintas (Figura 19). Em todas as etapas os participantes foram voluntários, uma vez que a autora desse trabalho não leciona disciplinas que contemplam o conteúdo estereoquímica.

Figura 19 - Etapas e amostragem da pesquisa.



Fonte: Autora (2015).

No ano de 2011, realizou-se a primeira etapa do experimento com bases em dados que foram coletados durante o desenvolvimento do Mestrado em Ensino de Ciências, no qual o foco estava direcionado para a questão da visualização na Estereoquímica. Uma releitura desses dados, com o objetivo de compreender o aprendizado da área de uma forma mais abrangente (não focando somente a visualização) trouxe à tona uma questão que despertou o interesse em aprofundar a pesquisa nesse campo: alunos de Ensino Superior de Química em nenhum momento da pesquisa comentaram aspectos relacionados ao desenvolvimento da Estereoquímica, sua história, sua relevância ou até mesmo relações com o cotidiano.

Tendo como objetivo compreender por que esses estudantes, durante a pesquisa, demonstram aparentemente somente o conhecimento relacionado às questões técnicas da Estereoquímica (nomenclatura, construção de moléculas, classificação), buscou-se

compreender como o tema é apresentado aos estudantes tanto do Ensino Médio quanto do Ensino Superior. Uma possível fonte de informações históricas e contextuais da estereoquímica em sala de aula é o livro didático. Considerando que “a presença do livro didático como orientador dos trabalhos em sala de aula é uma realidade” (LOGUERCIO, DEL PINO, 1995, p.1), ainda mais a partir de 1985, quando surgiu o PNLN – Programa Nacional do Livro Didático. Optou-se por analisar os livros didáticos, mais especificamente o capítulo relacionado a Estereoquímica. Essa etapa foi realizada no ano de 2012.

A partir dessas duas análises realizadas, percebe-se uma lacuna no que se refere a um ensino de estereoquímica que contemple diferentes aspectos, desde a visualização até sua relevância no cotidiano. Assim, desponta a proposta da criação de uma unidade de ensino específica sobre o tema, abrangendo os aspectos conceituais e históricos, as aplicações no cotidiano e também a questão da visualização tridimensional. Essa etapa de criação da unidade de ensino iniciou no ano de 2013, sendo submetida à validação de professores de Química no ano de 2014.

Após receber os comentários e críticas dos professores, essa unidade de ensino foi remodelada para ser utilizada por alunos do Ensino Médio Técnico (na escola onde a autora atua) no final de 2014, juntamente com pré e pós-teste de estereoquímica baseado em um teste de diagnóstico recomendado pessoalmente pelo Professor David Treagust da Curtin University of Technology da Austrália durante a apresentação de trabalho que continha os dados preliminares da tese na Conferência da Associação de Educação Europeia - ESERA- na cidade de Nicósia, no Chipre, em setembro de 2013. Além dos testes, os estudantes participantes responderam um questionário sobre a unidade de ensino. Dessa forma, retornamos à nossa inquietação original: como resgatar a contextualização e a historicidade do ensino de estereoquímica no ensino médio, ao mesmo tempo em que se traz o aprendizado de competências relacionadas à visualização tridimensional?

4.1. Experimento 1

Essa etapa compreendeu a aplicação de testes, atividade em um laboratório de informática e entrevista. Esse estudo teve por objetivo analisar os conhecimentos dos alunos sobre estereoquímica. A amostragem dessa etapa foi composta por um grupo de seis estudantes dos cursos de graduação de Química Industrial e Licenciatura em Química de uma Universidade

da Região Metropolitana de Porto Alegre, que já haviam cursado as disciplinas de Química Orgânica que contemplavam os conteúdos relacionados à estereoquímica. A amostra nessa etapa é classificada como não probabilística por conveniência, uma vez que os participantes participaram voluntariamente da pesquisa, após receberem o convite que foi realizado pelo professor de Química Orgânica em suas turmas. Foram realizados quatro encontros no turno da noite, nas dependências da respectiva Universidade.

A coleta de dados iniciou com a entrega de uma folha que continha a seguinte instrução: *Imagine que você vai explicar a outro colega tudo o que sabe sobre Isomeria. Você pode utilizar texto, equações, fórmulas, desenhos, tabelas, da forma que desejar.* Além dessa folha, os estudantes receberam um teste para resolução de questões sobre estereoisomeria, no qual foram solicitados a representar em três dimensões os isômeros dos seguintes compostos: a) 2-buteno e b), 2-dibromociclopropano; c) Ácido butenodióico. Nessa etapa era esperado que os estudantes escrevessem aspectos gerais sobre a isomeria, citando aplicações, exemplos, bem como aspectos relacionados à nomenclatura, classificação, etc. (APÊNDICE A). Após preencherem a folha e representarem os isômeros, os estudantes foram entrevistados. O método de coleta de dados baseou-se na técnica “*Think Aloud*” em português “pensar em voz alta”.

Para utilizar esta técnica os investigadores são aconselhados a dar instruções de um modo muito geral, simplesmente para o estudante “pensar em voz alta” enquanto executa a tarefa ou relata uma tarefa anteriormente executada verbalizando "tudo que passa pela sua cabeça". Dessa forma evitamos a perturbação do processo de pensamento (COTTON; GREY, 2006). O *Think Aloud* possibilita dessa forma, a compreensão de como os estudantes constroem os significados. Os estudantes receberam um texto explicativo sobre a técnica (APÊNDICE B). Essa etapa teve duração de 4 horas.

Em um novo encontro de 4 horas, os estudantes foram ensinados a utilizar como instrumento a ferramenta de visualização ChemSketch da ACDLabs⁸. No terceiro encontro de 4 horas os testes foram devolvidos aos alunos para que os mesmos isômeros fossem construídos em 3D utilizando o ChemSketch e comparados com suas construções prévias. As representações 3D utilizadas como suporte para o desenvolvimento das representações internas foram as mais utilizadas em modelagem molecular, que são: Wireframe (modelo em forma arames), Sticks (modelos semelhante a varetas) e Spacefill (modelo de espaços preenchidos

⁸A versão freeware disponível para download no endereço: <http://www.acdlabs.com>.

pelos orbitais) Balls and Sticks (modelo de bolas e varetas). O software permite a rotação “manual” das moléculas onde manipulando o *mouse* é possível fazer rotação em um ambiente 3D e também a rotação automática opção que permite a molécula adquirir autorrotação.

Posteriormente, no último encontro, os estudantes resolveram um segundo teste no qual, sem o uso do software, representaram através de desenhos os seguintes pares de isômeros: a) 2-bromo-1-clorociclobutano; b) 1,2- dicloroeteno; c) 3-cloro-2-buteno. Da mesma forma que no pré-teste os estudantes receberam uma folha com a instrução para escrever sobre isomeria. Após a conclusão do pós-teste, os estudantes foram entrevistados individualmente utilizando a mesma técnica (APÊNDICE C).

O método de análise de dados utilizado foi análise interpretativa hermenêutica do relato dos estudantes (tanto na entrevista, quanto no texto escrito) e análise não-verbal/gestual. Acredita-se que o acesso aos gestos que estudantes fazem ao utilizarem pensamento não-verbal pode fornecer alguma evidência sobre a internalização das representações (CLEMENT, 2008). Esses gestos podem estar relacionados com imagens mentais (estáticas ou animadas), que também estão vinculadas ao pensamento científico. De fato, como revêem Stephens e Clement (2010), as ciências cognitivas recentemente reforçam a noção de vários cientistas que o uso de imagens é uma forma importante de representações mentais em ciência (KOZHEVNIKOV, HEGARTY, MAYER, 2002).

A linha metodológica descrita por Clement (2008) foca na identificação, registro e análise de gestos descritivos, ou seja, aqueles gestos utilizados para descrever uma forma ou ação imaginária no ar. Estes gestos estão intimamente conectados, de acordo com a literatura recente em campos como psicologia cognitiva e até mesmo pesquisa em educação, com imagens mentais estáticas ou dinâmicas.

Pesquisas recentes trazem forte embasamento de que gestos parecem estar associados às representações internas do sujeito. Consideramos que gestos representativos - estáticos ou animados - podem estar relacionados com processos que envolvam o uso e manipulação de representações mentais e fornecem uma janela parcial para compreender não apenas o uso dessas representações internas, mas também o uso de habilidades espaciais, tais como percepção espacial, rotação mental e visualização espacial (RAUPP, DEL PINO, SERRANO, 2011).

Teoricamente, a metodologia proposta por Stephens e Clement (2010) é sustentada por alguns fatos da literatura de diversas áreas que, resumidamente dá ao entrevistador uma visão

pelo menos parcial nas imagens mentais geradas pelos sujeitos: O tipo e a quantidade dos gestos parecem estar associados com a natureza da representação interna do sujeito (LOZANO; TVERSKY, 2005; IVERSON; GOLDIN-MEADOW, 1997, 1998). A produção de gestos representacionais, em particular, parece estar associada com processos de visualização espacial e outros processos relacionados à imaginação (IVERSON; GOLDIN-MEADOW, 1997; KRAUSS, 1998; HOSTETTER; ALIBALI, 2004; ALIBALI, 2005; FEYEREISE; HAVARD, 1999).

A evidência colecionada leva pesquisadores a sugerir que gestos representacionais não são meramente a tradução dos significados verbais dos sujeitos, mas pode revelar pensamento não-verbal. Uma hipótese alternativa é que gestos não possuem relação com imagens mentais, sendo apenas uma tradução física de palavras, contudo um número de estudos colocou dúvida na plausibilidade desta hipótese (IVERSON; GOLDIN-MEADOW, 1997; ROTH, 2000) e neste trabalho assumimos a hipótese de que, de fato, gestos descritivos têm uma relação íntima com imagens mentais produzidas pelo sujeito. Gestos descritivos parecem ser uma forma natural de expressar os resultados de animações mentais e transmitem informação sobre a animação não revelada no discurso do sujeito (MCNEILL, 1992; HEGARTY, MAYER, KRIZ, 2005). Assim, utilizamos essa metodologia de análise para ter acesso ao que poderíamos chamar de “discurso não-verbal imagístico” dos estudantes durante a resolução de problemas de estereoisomeria.

4.2 Análise de livros didáticos

Nas últimas décadas, o Livro Didático tem despertado interesse por parte de pesquisadores de diferentes áreas, em virtude de sua importância no processo de ensino e aprendizagem (GARCÍA E COLS., 2002; GATTI JÚNIOR, 2004; PASSOS, 2007).

Silva (2007) verificou que “a abordagem da isomeria é realizada, convencionalmente, com o auxílio de livros textos e através de aulas expositivas, tendo como principais recursos o quadro branco, pincéis e retroprojetor”. Por isso, propôs uma aula com uso de modelos moleculares para o ensino não ficar limitado apenas ao uso de representações 2D.

Quadros (2004, p.26) afirma que “o conhecimento químico tem sido trabalhado na forma de itens fragmentados, e espera-se que os alunos possam, um dia, juntar todo esse conhecimento e, com ele, entender o mundo material”. Conforme Almeida et al. (2009)

O ensino-aprendizagem de conceitos em isomeria é extremamente relevante, pois, é a fundamentação de muitas aplicações que surgem em diferentes contextos curriculares, especialmente da Química. Pelas múltiplas relações que o permeiam, há uma grande relevância na formação dos mesmos e a necessidade de sua abordagem no ambiente escolar. Entretanto, apesar da sua importância, a isomeria é um conteúdo permeado por dificuldades que restringem a sua exploração no ensino médio. Ele vem sofrendo recortes, muitas vezes, chegando ao ponto de ser totalmente desconsiderado pelos professores de química em suas abordagens.

Tendo em vista a grande utilização de livros didáticos no ensino de Química, tanto no Ensino Médio, quanto no Ensino Superior, selecionamos alguns exemplares para análise. A amostra foi composta por um total de nove livros: cinco livros didáticos de química utilizados no Ensino Médio e quatro livros utilizados no Ensino Superior. O critério de escolha para os livros de Ensino Médio foi baseado na lista dos exemplares aprovados pelo Ministério da Educação para o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) 2012, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Seleção de livros de Ensino Médio.

Livro	Título	Autor (es)
A	Química	Andréa Horta Machado e Eduardo Fleury Mortimer
B	Química na abordagem do cotidiano	Eduardo Leite do Canto e Francisco Miragaia Peruzzo
C	Ser Protagonista Química	Julio César Foschini Lisboa
D	Química cidadã	Wildson Luiz P. dos Santos, Gerson de Souza Mól
E	Química, Meio Ambiente, Cidadania, Tecnologia.	Martha Reis

Fonte: Autora (2012).

Já para a seleção dos livros de Ensino Superior o primeiro passo foi uma busca na página do e-MEC para identificar universidades brasileiras que são autorizadas pelo MEC a ofertar os cursos de Química Industrial, Química Licenciatura e Química Bacharelado. Após a etapa de identificação dessas instituições, foi realizada uma busca nas páginas dos cursos de modo a verificar as ementas e planos de ensino de disciplinas de Química Orgânica que abordam o conteúdo em discussão. Nos documentos aos quais se obteve acesso, buscamos identificar os

livros indicados na bibliografia. Dentre as universidades em que encontramos essas informações, podemos citar: UFRGS, ULBRA-RS, UFRJ, UFSM, FTPR, UFSC, UFMG, UNESP, UNICAMP, USP. Dos livros indicados, optou-se por quatro livros (Tabela 2) que apresentaram maior frequência na indicação de bibliografia básica da disciplina para análise e discussão.

A amostra nessa etapa é classificada como não probabilística intencional.

Tabela 2 - Livros analisados

Livro	Título	Autor (es)
A	Química Orgânica 4 ed. Vol. 2	Paula Yurkanis Bruice
B	Química Orgânica 9 ed. Vol. 2	Graham Solomons, Craig Barton
C	Química Orgânica 6 ed. Vol. 2	John McMurry
D	Introdução à Química Orgânica 2 ed.	Luiz Cláudio de Almeida Barbosa

Fonte: Autora (2013).

Nos livros selecionados, em um primeiro momento detectou-se a presença ou não do conteúdo. Quando encontrado, os capítulos referentes à estereoquímica foram analisados de acordo com duas diferentes abordagens: uma com foco na historicidade e outra com foco na contextualização.

a) *Relação com a história da ciência*: utilizou-se como critério de análise uma das dimensões propostas por Laurinda Leite em sua metodologia para analisar o conteúdo histórico de livros didáticos de Ciências, publicada em artigo na Revista *Science & Education* (LEITE, 2002). A dimensão considerada como mais relevante foi a *Tipo e organização da informação histórica*, uma das dimensões de análise. Essa dimensão possui subdivisões que oferecem diretrizes para uma análise abrangente e foi escolhida, pois é uma dimensão comumente utilizada em livros que buscam a aplicação de uma abordagem relacionada a história. A dimensão pode ser subdividida em:

- i) Cientistas: informações sobre dados biográficos, características pessoais, episódios etc. Nessa etapa analisou-se a informação trazida junto ao nome do cientista, dados como nascimento, nacionalidade, formação, aspectos da vida pessoal e por fim o episódio (ou evento histórico);
- ii) Evolução da ciência: menção ou descrição de uma descoberta científica.

b) *Conteúdo relacionado ao cotidiano*: para a análise do conteúdo relacionado ao cotidiano nos livros, selecionamos as ocorrências que são abordadas de forma contextualizada. Como alguns livros apresentam casos de isômeros constitucionais, foram utilizados apenas exemplos que envolvessem estereoisômeros. Tal informação deveria ser apresentada de forma explicativa, relacionando a molécula em questão à sua função/ aplicação. Os casos nos quais uma substância presente no cotidiano é apenas citada sem a conexão foram desconsiderados (exemplo: citar molécula de retinal sem mencionar a razão de estar relacionada à visão).

4.3 Criação e validação de uma unidade de ensino

A escolha do nível de Ensino ao qual se destina a Unidade de Ensino foi sugerida pela banca na etapa de qualificação da tese. A unidade foi concebida de modo a contemplar conceitos básicos bem como os aspectos históricos e contextuais da área, sem deixar de contemplar a questão da visualização 3D para a resolução de problemas. Dessa forma buscou-se contemplar a tríade de alfabetização: conceitual, histórica e contextual.

Para a construção da unidade foram utilizados os livros didáticos estudados na etapa 2, bem como artigos da área. Após uma breve introdução, foi elaborado um capítulo com conceitos considerados fundamentais para a compreensão e domínio do campo da estereoquímica. A seguir um capítulo narrando brevemente a história da estereoquímica envolvendo os principais avanços da área bem como os principais cientistas envolvidos na consolidação dessa área. Nesse capítulo o texto elaborado apresenta uma “linha do tempo” sobre o desenvolvimento da estereoquímica e apresenta não só dados biográficos dos cientistas envolvidos como também, em alguns casos, comentários adicionais sobre local de trabalho, quem era seu orientador, seus parceiros de trabalho. Alguns avanços científicos são mencionados e outros são descritos em detalhes. E cada cientista citado é relacionado com sua figura com o objetivo de personificação.

Posteriormente, o capítulo sobre as relações com cotidiano, com exemplos que vão desde aromas, sabores até os exemplos mais discutidos atualmente como é o caso da gordura *trans*. Para abordar o caso dos fármacos, um capítulo distinto foi criado para apresentar alguns exemplos. O famoso caso da Talidomida está presente, mas também há outras informações relevantes na área. Em ambos os capítulos todos os exemplos foram elaborados apresentando a fórmula molecular, fórmula estrutural e o respectivo nome.

Por fim, um capítulo trata das questões relacionadas com a estrutura tridimensional e as propriedades com foco na visualização das estruturas. Há a sugestão do uso de um software livre, o Chemskecth, e um pequeno guia para utilização do mesmo. Existem outras opções disponíveis para download, a maioria na língua inglesa. Visando atender as demandas das escolas de Ensino Médio e facilitar o uso pelo professor, o Chemskeetch foi escolhido em função de sua fácil instalação e por haver uma versão em português, elaborada pelo Departamento de Química da Universidade de Caxias de Sul, com detalhamento sobre todo o funcionamento do software. Cada um dos capítulos apresenta exercícios para discussão.

A decisão de trabalhar as questões conceituais, históricas e contextuais em capítulos distintos, foi baseada no princípio de que cada uma das esferas contempladas com destaque ao invés de escrever um texto único que engloba todos os aspectos. Diferentemente de alguns livros analisados que apresentam alguns “drops” misturados com a explicação de conceitos básicos. Dessa forma, o estudante pode ter clareza e se apropriar de cada esfera, facilitando assim a contribuição para o aprendizado e a atribuição de significados de acordo com as diferentes situações. Cabe ressaltar nesse ponto, que a sugestão é de que a unidade seja utilizada como um material adicional para o ensino de química, e não como a única fonte de consulta, podendo o professor optar pelo uso direto da unidade com seus alunos, ou apenas usá-la como referência para elaboração de suas aulas. E, caso julgue adequado, trabalhar com os diferentes aspectos de uma forma menos sistêmica.

Após a elaboração da unidade, foram definidos em reunião com o orientador do trabalho os nomes de nove professores que seriam os avaliadores da unidade de ensino sendo três professores de Ensino Médio, três de Ensino Técnico e três de Ensino Superior. A amostra nessa etapa é classificada como não probabilística intencional.

O contato foi realizado por e-mail, no qual os participantes receberam uma cópia da unidade de ensino e um guia com os tópicos a serem avaliados. Conforme listado a seguir:

- **Uso dos conceitos**
 - Há necessidade de alguma correção conceitual?
 - É observada a falta de algum conceito fundamental?
 - Há clareza e aprofundamento na explanação dos conceitos?
 - O texto é adequado para uso no Ensino Médio?

- **Aspectos Históricos**
 - É observada alguma falha na acurácia dos dados biográficos?

- O texto fornece claramente uma visão da estereoquímica como uma ciência que evoluiu de um período de descrédito até ser atualmente fomentadora de prêmios Nobel?
 - Sugestão da inclusão de outros fatos históricos pertinentes?
 - Na descrição do fato histórico são apresentados os conceitos que são pertinentes à explicação científica da descoberta do fenômeno?
- **Aspectos Contextuais**
 - Os exemplos relacionados ao cotidiano bem como os exemplos relacionados à estereoquímica dos fármacos são apresentados com clareza?
 - O aprofundamento na exposição dos exemplos é adequado?
 - Sugestão da inclusão de outros exemplos pertinentes?
- **Aspectos de visualização tridimensional.**
 - A Unidade apresenta a proposta do uso do software ACDLabs/ChemSketch. Esta atividade é adequada e está devidamente inserida e contextualizada dentro da atividade? Por favor, faça quaisquer comentários adicionais que julgar pertinente à atividade computacional.
 - As linguagens utilizadas no texto são claras (tanto o texto escrito como as imagens)? A complexidade da linguagem é adequada ao ensino médio? O texto em si é autoexplicativo conceitualmente para um estudante deste nível de ensino?

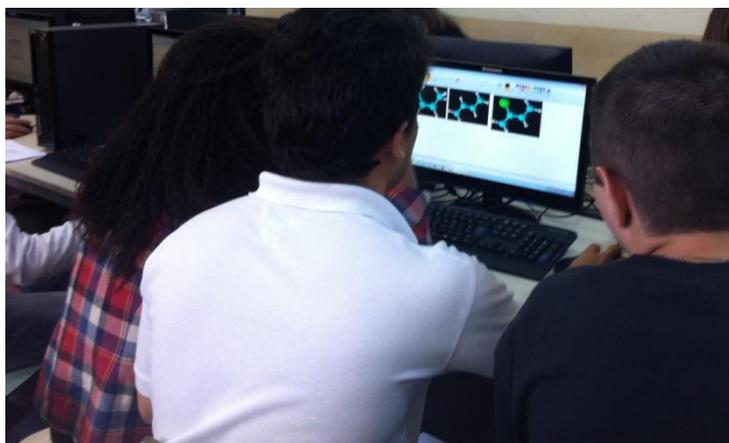
Os comentários enviados pelos professores serviram de base para a alteração da Unidade de Ensino que foi utilizada na Etapa 4 (Apêndice D).

4.4 Experimento 2

No mês de novembro de 2014 foi realizado um experimento com duas turmas de segundo ano do Curso Técnico em Química da Fundação Liberato em Novo Hamburgo. A turma A possuía 28 alunos e a turma B 25 alunos. A amostra nessa etapa é classificada como não probabilística intencional, uma vez que das quatro turmas disponíveis, foram escolhidas as duas que tinham o mesmo professor de Química Orgânica. A metodologia utilizada inclui análise quantitativa dos dados. O objetivo dessa etapa visou principalmente a compreensão principalmente sobre o domínio de aspectos conceituais básicos referentes ao campo da estereoquímica, bem como sua compreensão das esferas histórica e contextual, uma vez que o experimento com alunos de ensino superior teve seu foco direcionado para os aspectos relacionados à visualização espacial.

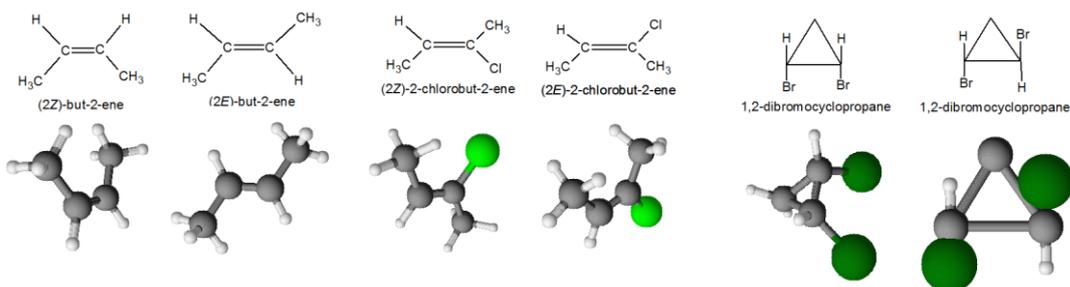
A primeira etapa realizada no dia 07 de novembro com a turma A no período das 9h10min até às 10h e com a turma B das 10h20min até às 11h10min consistiu em um teste de diagnóstico em Estereoquímica (APÊNDICE E) que foi sugerido pelo Professor David Treagust, da Curtin University of Technology da Austrália. Esse teste foi criado pelo seu orientando de Doutorado (ANEXO A). A segunda etapa foi realizada no dia 14 de novembro 8h20min às 10h e 10h20min às 12h. Nesse dia os alunos receberam uma cópia da unidade de ensino de Estereoquímica e foi realizada uma breve explanação sobre a estrutura da mesma e foi solicitada a leitura detalhada como tarefa. Após os alunos foram conduzidos ao Laboratório de informática 1 (Figura 20).

Figura 20: Estudantes utilizando Chems sketch.



Fonte: Autora (2012).

Esse laboratório dispunha de 25 computadores, para que individualmente ou em dupla realizem a atividade relacionada na página 32 da Unidade, que envolvia a construção de pares de isômeros em 3D (Figura 21). É importante deixar claro que a atividade no laboratório de informática visou apenas apresentar aos alunos uma ferramenta computacional para visualização tridimensional, diferentemente da atividade realizada com alunos do Ensino Superior na qual se analisou o impacto do uso dessa ferramenta após um determinado número de horas de utilização.

Figura 21 - Isômeros construídos pelos estudantes.

Fonte: Autora (2015).

No dia 28 de novembro os alunos participaram da etapa final, que consistiu em um pós-teste semelhante ao primeiro e um questionário com 22 questões baseado na escala Likert, na qual os respondentes especificam seu nível de concordância com uma afirmação. (APENDICE E).

Ambos os testes de diagnóstico eram compostos por cinco questões objetivas e duas questões abertas. As questões objetivas do pré-teste foram as mesmas aplicadas no teste de diagnóstico desenvolvido por Vishnumolakala (2013), apenas com a tradução feita. Já o pós-teste foi modificado em parte. Para averiguar se a aprendizagem ocorrida é capaz de oportunizar ao estudante a solução de questões semelhantes, mas não iguais, modificamos três questões das cinco. As duas restantes não foram modificadas, preservando o instrumento quantitativo original. As modificações consistiram apenas na alteração das moléculas a serem analisadas. Essas “novas” moléculas estavam presentes na Unidade de Ensino que os estudantes trabalharam antes de realizar o pós-teste.

Nas questões objetivas os estudantes deveriam marcar com um “X” a resposta correta e a justificativa correspondente para cada resposta. Cada uma das cinco questões possuía apenas uma combinação resposta-justificativa correta. As questões objetivas estavam relacionadas aos conceitos básicos necessários para a compreensão da estereoquímica como, por exemplo, conceito de carbono assimétrico, quiralidade, classificação dos estereoisômeros, entre outras.

O objetivo principal foi analisar o grau de conhecimento dos alunos sobre esses conceitos básicos. Em ambos os testes cada uma das questões estava relacionada a conceitos específicos do campo da Estereoquímica. As duas questões subjetivas objetivaram compreender o nível de conhecimento dos estudantes sobre: a) história da estereoquímica e b) aplicações/presença da estereoquímica no cotidiano.

O questionário contém 22 afirmações para a avaliação da unidade didática por parte dos

estudantes. Nove itens estão relacionados diretamente com a opinião sobre a unidade de ensino. Quatro itens sobre o conhecimento e interesse sobre as questões históricas e cotidianas relacionadas ao tema. Há também quatro sobre a importância da estereoquímica e, finalmente, três itens sobre software para visualização e, finalmente, itens sobre quanto considerava ter aprendido e se tinha respondido o questionário com atenção (APÊNDICE F). As sentenças afirmativas ou negativas são do tipo Lickert, devendo o estudante manifestar seu grau de concordância ou discordância em uma escala de cinco pontos: Concordo plenamente (CP); Concordo (C); Indeciso ou Não tenho opinião (NO); Discordo (D); Discordo totalmente (DT).

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Resultados do experimento com estudantes do ensino superior⁹

O tema isomeria, não é um tema novo para os estudantes participantes da pesquisa. No terceiro ano do Ensino Médio o tema é abordado, e tomamos o cuidado de escolher uma amostra de estudantes que já havia cursado a disciplina de Química Orgânica que contempla o conteúdo no Ensino Superior. Os estudantes foram indicados pelo professor de Química Orgânica I da Universidade.

Após preencherem o teste, foi realizada a entrevista, utilizando a técnica *Think Aloud* os alunos foram questionados sobre como resolveram as situações em que precisavam representar em 3D os compostos requeridos. Quando questionado sobre como desenhou a estrutura do but-2-eno, cuja fórmula molecular é C_4H_8 , o Estudante 1 foca em explicar como verificar o fenômeno conferindo se os dois compostos possuem a mesma fórmula molecular:

E1: [...] primeiro a gente tem que ver se é isômero, mesma formula molecular, aí tem que contar elemento por elemento pra ver aqui, por exemplo, ó tem quatro carbonos, seis, sete, oito hidrogênios e esse aqui também o cis e o trans.

Já o Estudante 2 foca na questão dos tipos de ligações do carbono, sua geometria e até mesmo a configuração dos orbitais para iniciar a identificação dos isômeros. E destaca que o método que utiliza para iniciar essa construção é baseado em sua vivência em sala de aula.

E2: É que a gente sempre na aula, a gente sempre, o Professor ele sempre frisa as três ligações que tem entre, existentes no carbono. A partir dessas três ligações a gente começa montar as moléculas né eu tentei explicar essas três ligações aí explicaria como é cada uma delas né. Que linear é faz duas ligações duplas então ela tá no plano, ela tem espaço para mais dois ligantes, a tripla tem espaço pra mais três e a trigonal que é um pouquinho mais complexazinha, ela tem dois orbitais num plano, uma pra trás uma pra frente.

⁹ Resultados referentes a esse subcapítulo foram publicados em: a) RAUPP, D. T., ANDRADE NETO, A. S., DEL PINO, J. C. **Uma investigação da aquisição e do uso de representações mentais no processo de aprendizagem em estereoisomeria.** Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências; Campinas, Brasil, 2011. b) RAUPP, D. T., ANDRADE NETO, A. S., DEL PINO, J. C. **A conceptual understanding of higher education students on stereochemistry.** Conference of the European Science Education Research Association – ESERA, Nicosia, Chipre, 2013.

O Estudante 3 também comenta sobre a questão de analisar as possibilidades de ligação do carbono e afirma utilizar o nome do composto como ponto de partida para iniciar o desenho da estrutura correspondente.

E3: Eu sempre parto do princípio, assim. O carbono é tetravalente, com as quatro ligações. O oxigênio bivalente, hidrogênio e halogênios monovalentes, nitrogênio, trivalente. Isso é o essencial, o básico que temos que partir. A gente tem que saber quantas ligações o composto vai fazer. E daí, tem que ir jogando no montar a estrutura. Aqui foi dado o nome do composto então a partir do nome do composto a gente sabe que tem que ter quatro carbonos, por exemplo, a gente pode saber a função, se é um álcool, um ácido, éter, etc. Então a gente vai jogando, ligando carbono com carbono, coloca uma cadeia principal e daí vai colocando os outros elementos até fechar o número de carbonos da estrutura molecular. E depois existem compostos com a mesma fórmula molecular, tem quatro carbonos e seis hidrogênios, mas o que difere é como a cadeia está distribuída.

Após comentar como constrói as estruturas dos respectivos isômeros o Estudante 2 preocupa-se em explicar como identificá-los e diferenciá-los, mas não demonstra clareza em como realizar essa operação:

E2: Daí além disso a formação do cis e trans que sempre me pega né e de isômeros né que a gente aprendeu até agora que eu sei é quando dois elementos tem a mesma forma, quando eles tem a mesma forma e a estrutura eles são isômeros.

Em seguida o mesmo estudante classifica os isômeros de forma correta, mas não se recorda das características de cada um.

E2: Esse é o princípio básico e daí a partir disso a gente classifica os isômeros em três em diastereoisômeros, isômeros enacionomeros e constitucionais. Aí para chegar a esses três eu não sei explicar de cabeça.

O Estudante 1 cita conceitos relativos ao enantiômerismo usando o termo “isomeria óptica” e explica regras de nomenclatura. É importante ressaltar que o termo isomeria óptica é considerado pela IUPAC como um termo obsoleto e que os livros didáticos utilizados no Ensino Superior, não utilizam essa classificação para os isômeros:

E1: Aí vai começando pelo Iodo, Bromo, Cloro e Hidrogênio. Daí por ordem de prioridade faz uma troca colocando o hidrogênio sentido horário é R e anti-horário é S. No caso isso seria na parte de isomeria óptica. Aí eu coloquei que geralmente um composto que apresenta isomeria ótica e tem o carbono quiral. Geralmente, não é sempre, não é regra e esse carbono é constituído por quatro ligantes diferentes pra ser considerado carbono quiral. Essa parte a gente tava vendo na cadeira de orgânica.

Quanto à classificação dos diferentes tipos de isômeros, não há uma clareza quando a descrição conceitual da divisão da isomeria, e o Estudante 2 também usa o termo “isomeria óptica”.

E2: Eu escrevi mais ou menos o que eu lembrava, não sei se tá certo. Eu botei que Isomeria é a parte da química que estuda os compostos de mesma fórmula molecular, porém com diferentes funções. Existem diversos tipos de isomeria dentre eles, isomeria de função e isomeria óptica. E eu não me lembrei os outros tipos que a gente tinha no fluxograma de orgânica os tipos de como seguir pra distinguir que tipo de isomeria que era. Mas eu me lembrei basicamente o que a gente falou em Orgânica tanto em Orgânica I.

Quanto à nomenclatura dos compostos, Estudante 1 aborda aspectos relativos a nomenclatura dos diastereoisômeros *cis* e *trans*.

E1: Falando em nomenclatura, *cis* mesmo lado *trans* lados opostos se eu fosse explicar para alguém eu vou explicar mais ou menos assim. Aqui eu tenho uma metila e a metila tá do lado oposto e aqui a metila tá do mesmo lado e o hidrogênio tá do mesmo lado.

O estudante continua sua explanação sobre nomenclatura quando o estudante explica como nomear os compostos de acordo com o sistema *R*, *S*.

E1: E tem uma outra consideração que é importante né, na isomeria que nós aprendemos na orgânica que se é o isômero *R* ou *S*. Aqui a ordem de prioridade é pelo número atômico...

Ao analisar o material buscando identificar os invariantes utilizados pelos estudantes na resolução de problemas de estereoquímica, pode-se perceber o uso de visualização externa e interna. Mas não há evidência do uso de habilidades visuoespaciais. Quanto à compreensão da estereoquímica em uma perspectiva histórica e contextual, nota-se que, nenhum dos estudantes menciona qualquer fato histórico ligado ao tema ou qualquer exemplo relacionado ao cotidiano. Isso ocorre mesmo quando o problema solicita que o estudante explique “*tudo o que sabe sobre Isomeria*”. Na análise interpretativa do relato dos estudantes, há uma valorização dos aspectos como estrutura, geometria, fórmula molecular, nomenclatura. Isso reflete o pensamento de Lima e colaboradores (2000) que afirmam que “o Ensino de química, muitas vezes, tem-se resumido a cálculos matemáticos e memorização de fórmulas e nomenclaturas de compostos, sem valorizar os aspectos conceituais”.

Essa compreensão da estereoquímica baseada apenas em conceitos científicos pode ser uma das causas das dificuldades de aprendizagem frequentemente relatadas, conforme abordado anteriormente e corroborado pela afirmação de Gabel (1993) que atribui as dificuldades que os novatos têm em desenvolver a compreensão conceitual: Os estudantes podem não compreender, "fenômenos não foram considerados relacionados ao cotidiano do aluno".

Já sobre o nível de alfabetização tridimensional dos estudantes a análise dos gestos representacionais foi o foco de estudo, pois "a maioria das pesquisas recentes sobre gestos tem se concentrado em gestos representacionais uma categoria ampla que inclui qualquer gesto que transmite conteúdo semântico, como utilizando forma, a colocação, ou movimento das mãos" (CLEMENT, 2010, p.3).

Na primeira etapa de análise dos vídeos nosso foco foi identificar e classificar os gestos considerados como representacionais, excluindo, portanto, todos os gestos identificados como utilizados apenas para dar ênfase rítmica ou gestos estilizados. Ao final da análise e identificação, criamos a seguinte classificação de acordo com o tipo de gesto realizado: gestos representativos de forma da molécula; posição dos átomos na molécula; posição de grupamentos atômicos na molécula; movimento de rotação 3D, rotação automática.

Na análise dos vídeos do pré-teste, identificamos indicações de gestos apenas para formas moleculares e para posições de átomos dentro da molécula. Já no pós-teste, esses gestos aumentam em quantidade; existe uma comunicação melhor entre os gestos que indicam o uso de representações internas e também novos gestos são utilizados, indicando movimento da molécula (rotação 3D, rotação automática) e também a posição de grupamentos orgânicos, juntamente com uma melhor conceitualização do conceito de estereoisomeria. Escolhemos o caso de um estudante específico para discutir.

Identificando evidências de utilização de visualização e representações internas na resolução de problemas. Os gestos representacionais apresentados demonstram que durante a explicação da estudante, de como construir e diferenciar os pares de isômeros, além de utilizar como suporte as representações internas, são utilizadas as habilidades espaciais que permitem a rotação mental, percepção e visualização espacial. Ao referir-se à forma da molécula, gestos representativos de forma eram utilizados, na Figura 22 à esquerda, podemos verificar o gesto de formação de uma espécie de triângulo no momento que a estudante está explicando como construiu a molécula dos isômeros do 1,2-dibromociclopropano no pré-teste. "[...] quando eu

desenho o ciclopropano, aqui é um triângulo né, mas aqui tipo eu consigo ver uma outra forma, tipo assim [...]” (Figura 22 à esquerda).

Figura 22 - Gestos representativos de forma da molécula.



Fonte: Autora (2011).

No pós-teste, após a visualização das estruturas 3D no Chemscketch, a estudante também utiliza gestos que indicam as diferentes posições dos átomos constituintes na molécula (Figura 23) como, por exemplo, a posição de um halogênio na molécula ou ainda dos hidrogênios ligados aos átomos de carbono. Essa sequência de gestos indica o raciocínio espacial necessário para indicar as diferentes posições.

Na Figura 22 especificamente, a estudante explica a posição no espaço dos diferentes elemento “ [...] são dois bromos, estão representados acima e aqui desta forma os hidrogênios, e lá no outro plano estão representados os outros elementos, os hidrogênios. [...]”.

Figura 23 - Sequência de gestos representativos de posição dos átomos na molécula.



Fonte: Autora (2011).

Já os gestos utilizados na Figura 24 foram utilizados para indicar a posição de um determinado radical orgânico, como, por exemplo, um grupamento metil ou carboxil, são diferentes dos gestos que indicam a posição de um átomo em específico na molécula.

Figura 24 - Sequência de gestos representativos de posição de grupamentos



Fonte: Autora (2011).

Os gestos utilizados nas Figuras 22, 23 e 24 sugerem a manipulação mental das representações internas utilizando a habilidade relativa à percepção espacial, uma vez que a estudante conseguiu fazer relacionamentos espaciais a partir de informações visuais as quais teve acesso por meio das representações externas utilizadas durante a tarefa executada no software.

Todos esses gestos indicam também a formação de imagens mentais estáticas. Também podemos observar gestos que descrevem um evento animado, como por exemplo, na Figura 25 que apresenta uma sequência de gestos para indicar movimento de rotação tridimensional executado internamente para visualizar todos os átomos da molécula. As mãos estão posicionadas como se a estudante estivesse manipulando um objeto externo. Essa sequência demonstra as etapas do raciocínio que é expressa pela série de gestos realizados, onde a estudante que além de utilizar sua capacidade de visualização interna utiliza a habilidade de rotação mental também na resolução do problema. Na Figura 25 estão os gestos indicando um movimento de rotação da molécula: “[...] e aqui um hidrogênio, e um cloro aqui tá atrás então por isso que ele tá mais escondidinho. Daí se virar a molécula vai aparecer ele né? [...]”.

Figura 25 - Sequência de gestos representativos de movimento de rotação 3D

Fonte: Autora (2011).

A estudante foi capaz de visualizar e rotacionar mentalmente a molécula para que pudesse enxergar os átomos em posições diferentes. Conforme ela descreve como diferenciou os diastereoisômeros do 1,2- dicloroeteno: “[...] os dois cloros estão no mesmo plano, lá atrás são dois hidrogênios e aqui então eu vou ter um hidrogênio e um cloro no mesmo plano e aqui um hidrogênio, é, e um cloro aqui tá atrás então por isso que ele tá mais escondidinho. Daí se virar a molécula vai aparecer [...]” Ao descrever que após rotacionar mentalmente consegue enxergar a diferença entre os isômeros a estudante está utilizando em seu raciocínio a habilidade de visualização espacial que consiste na manipulação de problemas visuais considerados complexos.

Figura 26 - Sequência de gestos representativos de rotação automática

Fonte: Autora (2011).

Há uma diferença na sequência dos gestos que indicam uma operação de rotação mental (Figura 25), ao se referir à rotação da molécula realizada com o auxílio do *mouse* no software utilizado, houve uma mudança no padrão dos gestos (Figura 26) que passaram a indicar uma rotação efetuada por meio de uma representação externa na tela do computador. Conforme a estudante: “[...] Tu pode colocar ela (a representação) pra girar, daí tu vai vendo todos os ângulos possíveis assim. [...]”.

Com essa análise, buscamos compreender como a estudante foi capaz de resolver as tarefas após ter tido acesso às representações externas que acreditamos, de acordo com a

definição da teoria de Vergnaud, ser mais ‘poderosas’ no processo de formação de representações internas relativas à estereoisomeria, e mais do que isso, a manipulação dessas imagens mentais. Uma vez que, dependendo da situação-problema envolvida, a simples imagem mental estática, não é capaz de auxiliar a resolução.

Sob a perspectiva dos princípios da Mediação Cognitiva de Vygotsky o uso de um sistema simbólico composto por representações externa geradas a partir de um instrumento (computador) que possibilitou a visualização de estruturas tridimensionais, promoveu o desenvolvimento cognitivo, o processo que envolve o domínio do uso externo de instrumentos que conseqüentemente promove a internalização de signos, modifica a relação entre estímulo externo e resposta frente às situações enfrentadas (VYGOSTKY,1998a).

A metodologia proposta por Stephens e Clement (2010) auxiliou a identificar dos gestos representacionais e observamos um aumento no uso de gestos estáticos e animados que podemos atribuir ao uso do software de que utiliza representações externas estáticas e animadas. O aumento dos gestos estáticos sugere que além de formação de imagens internas a estudante utilizou a percepção espacial para descrever a forma da molécula bem como a posição de átomos e grupamentos. Já a utilização de gestos animados indica a utilização freqüente do que Clement chama de simulações mentais. Essas simulações mentais surgem após o uso destas representações externas animadas e indicam a internalização destas representações sob a forma de representações internas animadas. Além disso, os gestos animados indicam a capacidade de rotação mental e visualização espacial desenvolvida pelo estudante. Tais habilidades de visualização não foram evidenciadas no pré-teste, antes do contato com os modelos 3D.

Em particular, foram identificados gestos específicos, acima descritos, que indicam uma espécie de linguagem não-verbal das imagens geradas pela estudante. Em especial, existem eventos onde a estudante gera seqüências de gestos que indicam operações mentais específicas com o objetivo de resolver uma determinada situação-problema. Em um evento específico, a estudante menciona que um determinado átomo está na parte oculta, atrás da molécula ao seu campo de visão interna, utiliza as mãos para indicar o átomo, em seguida menciona verbalmente que “depois o átomo é visto”, mas sua mão reproduz o gesto de movimento de rotação 3D, e depois o gesto de segurar o átomo que antes não era visto.

Isto indica a internalização e uso livre, para resolver problemas, tanto das representações como dos invariantes operatórios associados às operações mentais visuoespaciais complexas. Sua capacidade de operar mentalmente com estas moléculas é substancialmente melhorada em

função do uso de representações externas consideradas mais potentes para o caso da estereoisomeria, e segundo Vergnaud a representação mais potente auxilia a resolução de tarefas que antes não eram resolvidas.

Concordamos com Clement (2008, 2010) e acreditamos que os gestos fornecem pelo menos uma janela parcial para imagens mentais dos estudantes. Essa janela pode nos auxiliar na tarefa de encontrar as representações mais potentes aliadas a instrumentos adequados, tornando assim, o desafio do aprendizado de conteúdos que envolvam raciocínio tridimensional menos difícil e traumático.

5.2 Resultados da análise de livros didáticos de Ensino Médio e Superior

Ao todo onze livros foram analisados. Primeiramente, buscou-se identificar nos livros de ambos os níveis, a presença de conteúdos relacionados à estereoquímica. Identificado o conteúdo foram analisados os termos utilizados para abordagem do mesmo (isomeria, estereoisomeria, etc). Somente então se partiu para a identificação da informação histórica e contextualizada presente

e em cada livro.

5.2.1 Análise de livros didáticos de Ensino Médio

De uma forma geral em livros de Ensino Médio o tópico é abordado de uma forma mais ampla com o título “Isomeria”. Foi constatado que o Livro C não aborda o tema em nenhum momento. Já os Livros A, B e D apresentam o conteúdo com o título Isomeria e utilizam uma classificação que contém além da isomeria plana os termos e *isomeria geométrica e isomeria óptica*.

Cabe ressaltar que ambos os termos são obsoletos e seu uso é fortemente desencorajado pelas orientações da IUPAC (2014). De acordo com Gouveia-Matos (1997, p.20) esses termos “são conhecidos de qualquer aluno de segundo grau de nossos dias ao estudar o que ainda é, indevidamente, denominado isomeria óptica, e não enantiomeria”. Essa classificação indevida ocorre justamente por que os livros atuais continuam usando os termos obsoletos. Apenas o livro E, ou seja, apenas um dos cinco livros analisados nomeia o capítulo referente ao conteúdo

como “Estereoisomeria” e classifica os estereoisômeros corretamente, (segundo a recomendação da IUPAC) em dois grupos principais: diastereoisômeros e enantiômeros.

Quanto a *Informação histórica relacionada aos cientistas* (Quadro 1), o livro D não apresenta, qualquer informação, e os demais, A, B e E mencionam cientistas que fizeram parte do desenvolvimento da estereoquímica. Após identificação dos nomes mencionados no capítulo que aborda a estereoquímica utilizamos as classificações proposta por Leite (2002) para identificar a presença de informações sobre a vida do cientista, como *dados biográficos* (nascimento, morte, nacionalidade etc), *características pessoais* (casado com, herdou a fortuna da família, foi preso etc) e por fim *episódios* (contribuições científicas desenvolveu..., recebeu prêmio, descobriu... etc). O quadro 2 apresenta a informação histórica relacionada a evolução da estereoquímica, e como essa evolução é abordada. Em alguns casos há uma descrição detalhada do fato. Em outros casos há apenas a menção do fato sem uma descrição consistente.

Quadro 1 - Tipo e organização da informação histórica – Cientistas.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Cientistas mencionados	Friedrich Wöhler Louis Pasteur Jacobus van't Hoff Joseph Alchille Le Bel	William Knowles, Barry Sharpless Ryoji Noyori	Não há	Não há	Melvin Spencer Newman Jacobus van't Hoff Joseph Alchille Le Bel Adolph Wilhen Kolbe
Vida dos cientistas	Informações Biográficas (0) Características Pessoais (0) Episódios (3)	Informações Biográficas (3) Características Pessoais (0) Episódios (1)	Não há	Não há	Informações Biográficas (3) Características Pessoais (0) Episódios (1)

Fonte: Autora (2012).

Quadro 2 - Informação histórica relacionada à evolução da estereoquímica.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Fato relacionado à evolução da estereoquímica	Constatação da isomeria Separação de enantiômeros (Prêmio Nobel 2001)	Separação de enantiômeros (Prêmio Nobel 2001)	Não há	Não há	Descoberta da Quiralidade (Premio Nobel 1901)
Tipo de evolução	Descrição de uma descoberta científica (1) Menção de uma descoberta científica (1)	Menção de uma descoberta científica(1)	Não há	Não há	Descrição de uma descoberta científica(1)

Fonte: Autora (2012).

Na classificação “Cientistas Mencionados” foram considerados todos os nomes mencionados em algum momento no decorrer do capítulo; mesmo aqueles que não apresentam informações relativas à sua vida de acordo com a subdivisão “Vida dos cientistas”. No livro A, por exemplo, há referência ao químico alemão Friedrich Wöhler. Porém o cientista é apenas citado no episódio da síntese da uréia, que está relacionado com o fato histórico da constatação da isomeria. Na categoria “tipo de evolução” o episódio pode ser classificado como descrição de uma descoberta científica, ainda que essa descrição seja bastante breve:

[...] a síntese da uréia a partir do cianato de amônio, realizada por Wöhler no século XIX. Na época, mais importante que a obtenção de uma substância orgânica a partir de outra de origem mineral, foi a constatação de que duas substâncias distintas podiam apresentar a mesma fórmula molecular ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$). O cianato de amônio e a uréia são, por isso, chamados isômeros (MORTIMER, MACHADO, 2012, p.203).

Analisando esse caso mais profundamente, percebe-se que na descrição não há qualquer informação sobre a sua vida (nacionalidade, nascimento, etc) ou até mesmo importância de sua contribuição para o desenvolvimento de uma nova área: a Química Orgânica. Nem mesmo a data precisa que ocorreu essa constatação. Outro fato interessante é que os autores do livro abordam o fato como o trabalho de um cientista isolado quando na verdade um grupo de cientistas foi responsável pela descoberta. No ano de 1820, Liebig orientado por Gay-Lussac e Wöhler orientado por Berzelius trabalhavam em seus respectivos laboratórios, quando dois compostos diferentes sintetizados apresentaram a mesma composição. Assim, após alguns desdobramentos o grupo trabalhou junto para verificar o ocorrido e constatar a isomeria (RAUPP, 2010; CROSLAND, 1962).

O mesmo ocorre com os demais cientistas: Louis Pasteur, van't Hoff e Le Bel. Louis Pasteur é citado no episódio “Descobrimto da isomeria óptica” pelo seu estudo com a luz polarizada que é continuado por van't Hoff e Le Bel, pois “conseguiram explicar essa propriedade por meio da quiralidade que certos compostos apresentam em decorrência da forma tetraédrica do carbono” (MORTIMER, MACHADO, 2012, p.233). Esse episódio também pode ser classificado como descrição de uma descoberta científica, pois explica com certo nível de detalhes o experimento realizado com a luz polarizada.

Um episódio classificado como menção a uma descoberta científica é a pesquisa em síntese assimétrica. Os cientistas William Knowles, Barry Sharpless e Ryoji Noyori são citados terem sido contemplados com o Prêmio Nobel de Química no ano de 2001 por serem “os responsáveis por desenvolver métodos para obter compostos enantiomericamente puro em escala industrial” (MORTIMER, MACHADO, 2012, p.241). Não há qualquer informação sobre o método ou como o trabalho foi desenvolvido, por isso não é classificado como uma descrição de uma descoberta científica.

O mesmo Prêmio Nobel de Química também é citado no Livro B. Na verdade essa é a única menção a cientistas realizada em todo o capítulo, que é apresentada em um quadro chamado: Informe-se sobre a Química, com o título “Fármacos quirais: catálise assimétrica dá Prêmio Nobel” (PERUZZO; CANTO, 2010, p.161). O texto explicativo ocupa duas páginas do livro e é classificado como menção de uma descoberta científica. Os autores, nesse caso, informam a nacionalidade dos cientistas.

No Livro E, o primeiro cientista mencionado é Melvin Spencer Newman no trecho que apresenta o conceito de isômeros conformacionais: “Uma das formas mais comuns de representar essas conformações são as projeções de Newman, assim chamadas em homenagem a M.S. Newman, da Universidade Estadual de Ohio, que foi o primeiro a propor seu uso” (REIS, 2010, p.186). Nessa citação ocorre apenas uma menção para explicar a origem do nome da representação, sem trazer nenhum dado do cientista. Além de uma informação incompleta sem data específica, e esperasse que o leitor soubesse a localização da Universidade Estadual de Ohio, sem mencionar a nacionalidade o cientista ou país no qual a Universidade em questão está inserida.

No mesmo livro no quadro “Curiosidade” intitulado “A polêmica do carbono assimétrico” aborda um episódio interessante da história dessa descoberta com riqueza de detalhes citando os cientistas envolvidos (Jacobus van't Hoff, Joseph Alchille Le Bel e Adolph Wilhen Kolbe) bem como a aceitação na comunidade científica.

A seguir o trecho que inicia o quadro:

Em 1874 o químico holandês Jacobus Henricus van't Hoff (1852- 1911) e o químico francês Joseph Alchille Le Bel (1847-1930), com base em teorias matemáticas, sugeriram, independentemente, a existência de átomos de carbono assimétrico. A publicação desse conceito levou famoso químico alemão Adolph Wilhen Kolbe (1818-1884), cuja contribuição para a Química Orgânica foi da maior importância, a publicar em 1877, em um dos mais famosos jornais de química da época, um protesto muito violento contra o trabalho de van't Hoff (REIS, 2012, p.194).

O texto apresenta informações biográficas como a nacionalidade dos cientistas envolvidos, bem como datas de nascimento e morte, além das datas nas quais ocorreram os fatos, desde o início das pesquisas em 1874, comenta as duras críticas que a descoberta provocou na comunidade científica até sua aceitação a consagração de van't Hoff, como o primeiro químico a receber o Prêmio Nobel, em 1901, por sua contribuição à cinética química e às propriedades das soluções. Sendo assim esse episódio é classificado como descrição de uma descoberta científica contendo informações detalhadas que permitem a compreensão do episódio como um fato que contribuiu para a evolução do campo.

Finalizada a análise histórica, partiu-se para análise quanto ao conteúdo relacionado ao cotidiano. Além de identificar os aspectos que são abordados de forma contextualizada, buscou-se verificar a aplicação dessa informação e se a mesma poderia ser considerada como fundamental (faz parte da explanação dos conceitos), estando contida ao longo do texto ou até mesmo com destaque em quadros ou subseção, ou era apenas uma informação complementar (informação adicional, curiosidade), sem destaque e que pode até mesmo passar despercebida pelos estudantes. Além disso, verificou-se se essas ocorrências apresentavam as respectivas estruturas moleculares abordadas. O Quadro 3 apresenta resumo da análise.

Quadro 3 - Ocorrências contextualizadas.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Ocorrências contextualizadas	Ácido láctico Adrenalina Feromônios Cúrcuma Retinal Ácido butenodiólico	Aroma das rosas Feromônios Retinal Adrenalina Asparagina Naxopreno Ácido	Não há	Talidomida	Adrenalina Vitamina C Morfina Anfetamina Clorafenicol Fluazeponee de butila
Status da informação contextual	Complementar (2) Fundamental (7)	Complementar (9) Fundamental (0)		Complementar (1) Fundamental (0)	Complementar (9) Fundamental (0)

Fonte: Autora (2012).

O livro A apresenta nove situações que estão relacionadas com o cotidiano. As informações são apresentadas ao longo do capítulo, por vezes de forma superficial, sem apresentar as estruturas dos isômeros citados. É o caso sobre a adrenalina. Apesar de não apresentar a estrutura da molécula, o texto fornece uma informação detalhada sobre o funcionamento desse hormônio no corpo humano. “[...] Há na verdade, dois isômeros da adrenalina. Apenas um deles consegue agir nos músculos cardíacos e fazer com que contraíam com mais intensidade, impulsionando o sangue com maior pressão e velocidade pelo corpo” (MORTIMER, MACHADO, 2010, p.204), esse é um exemplo de ocorrência classificada como fundamental, uma vez que exemplo contextualizado é utilizado para explanação do conceito relacionado às diferentes propriedades dos isômeros. Os autores poderiam utilizar quaisquer outras substâncias, mas optaram por explicar o conceito e ao mesmo tempo contextualizar. Já os isômeros do limoneno com odores de laranja e limão são citados na página 234, de forma complementar, há a representação molecular ou associação direta com um conceito apresentado.

Outro caso classificado como fundamental, que apresentam uma informação mais completa, é o ácido láctico. Em uma das páginas há a explicação sobre a obtenção dos isômeros:

“um dos isômeros do ácido lático é obtido mediante a ação de bactérias em extrato de carne. O outro a partir da fermentação da sacarose” (MORTIMER, MACHADO, 2010, p.203). A estrutura do ácido lático não é apresentada nessa mesma página, mas na página 231 as estruturas do *d*-lático e *l*-lático são apresentadas na introdução do subcapítulo “Isomeria óptica”. Na página que contém uma proposta de atividade experimental há um modelo molecular do ácido lático e uma breve explicação sobre um teste de limiar de lactato: “O lactato é uma substância produzida pelo nosso organismo, principalmente quando submetido à atividade física intensa” (MORTIMER, MACHADO, 2010, p.203). No mesmo livro, outro caso bem detalhado são os isômeros dos aspartame e suas propriedades adoçantes. As duas configurações são apresentadas e relacionadas com o sabor adocicado e ao sabor amargo.

No livro B é possível encontrar nove exemplos relacionados com o cotidiano, também distribuídos ao longo do capítulo. Para todos os exemplos citados, sem exceção, os autores apresentam a respectiva estrutura molecular. Porém nenhum desses exemplos é classificado com status de informação fundamental. Ao abordar o conceito específico “isomeria geométrica” são utilizados exemplos de estereoisômeros que não possuem relação direta com o cotidiano do aluno. Após explanado o conceito, são citados exemplos contextualizados como se fossem “curiosidades”.

No subcapítulo intitulado “Isomeria Geométrica”, após a discussão sobre isomeria *cis-trans*, o exemplo dos feromônios é citado. Na respectiva página há uma imagem com abelhas e a estrutura molecular do feromônio, porém sem seu respectivo nome. Ao lado da imagem há a seguinte citação. “O feromônio (substância usada na comunicação entre indivíduos da mesma espécie) da abelha rainha com efeito regulador sobre a colônia é um isômero *trans*” (PERUZO; CANTO, 2010, p.144). Na mesma página há uma figura de um buquê de rosas com a legenda: “O aroma das rosas se deve a várias substâncias, algumas das quais podem apresentar isomeria geométrica. (Veja exercício 22)” (PERUZO; CANTO, 2010, p.144).

No entanto, o exemplo do retinal é bem detalhado. Em um quadro denominado: “Visão envolve conversão entre isômeros geométricos” há uma explicação sobre o mecanismo de conversão do *cis*-retinal em *trans*-retinal, com as respectivas estruturas moleculares. Além disso, são abordados aspectos como conversão da Vitamina A em retinal no organismo, exemplo de alimentos que contem a vitamina em questão e consequência da falta dessa vitamina. Essa informação é complementar aos conceitos anteriormente discutidos.

No subcapítulo “Efeitos fisiológicos dos enantiômeros” (PERUZO; CANTO, 2012, p.154), os efeitos da adrenalina responsável pela aceleração dos batimentos cardíacos, a asparagina que estimula as papilas linguais produzindo a sensação de sabor doce (ou amargo) o antiinflamatório naxopreno são discutidos e a estrutura molecular é apresentada. No mesmo subcapítulo é apresentado um quadro sobre a Talidomida com informações históricas sobre o caso, estrutura molecular, detalhamento do isômero com propriedade farmacológica e do isômero com propriedades teratogênicas.

O livro C não aborda o conteúdo isomeria. O Livro D apresenta apenas ocorrência contextualizada, de forma complementar, que é apresentada de forma breve e sem associar a estrutura molecular, ou especificar qual estereoisômero causa o efeito indesejado:

entre vários exemplos de drogas cujos enantiômeros causam efeitos diversos no organismo está a talidomida – um dos enantiômeros da talidomida possui efeito teratogênico e o outro não, o que provocou o nascimento de milhares de crianças sem braços e pernas, porque suas mães fizeram uso de medicamentos contendo uma mistura dos dois enantiômeros da talidomida durante a gravidez (SANTOS; CHIN, 2012, p.31).

O Livro E apresenta nove exemplos contextualizados. Encontra-se ao longo dos capítulos quadros denominados “Curiosidade”. No capítulo referente à Estereoisomeria esse quadro é intitulado “Atividade bioquímica dos enantiômeros” destacando que uma das diferenças entre dois enantiômeros é atividade que eles exercem em um organismo vivo. Para explicar a diferença, o texto contém informações básicas sobre o composto (como é obtido, onde é encontrado na natureza, sua função/atividade no organismo) e destaca a diferença entre os estereoisômeros como por exemplo: “A adrenalina dextrogira é muitas vezes menos ativa como hormônio do que a adrenalina levogira [...] O ácido ascórbico levogiro não apresenta nenhuma atividade biológica [...]” (REIS, 2012, p.196).

Além desses exemplos são descritos compostos como o analgésico morfina, o estimulante anfetamina, o antibiótico clorafenicol, o herbicida fluazepone de butila, e o sedativo talidomida. Todos apresentam sua estrutura molecular e um pequeno texto. Basicamente todos os exemplos estão contidos nesse quadro, e são classificados como informação complementar. Apenas o exemplo dos cristais de ácido tartárico obtidos respectivamente na fabricação de vinhos é citado no final do capítulo, também de forma complementar.

Em resumo, dos seis livros analisados, apenas um (Livro C) não apresenta ocorrências contextualizadas, um apresenta apenas o caso da talidomida de forma superficial (Livro D) e os demais (Livros A, B e E) apresentam exemplos relacionados ao cotidiano dos alunos bem como a estrutura molecular na maioria dos casos. Alguns autores usam os exemplos ao longo da explanação dos conceitos, outros apresentam essas ocorrências contextualizadas em seções específicas.

De maneira geral, os livros analisados não privilegiam a compreensão da evolução histórica da estereoquímica. O livro D, não apresenta nenhum fato relacionado a história e não cita nenhum cientista ligado à estereoquímica ao longo do capítulo. Os livros A, B e E citam os principais cientistas que fazem parte da construção desse campo também são citados, bem com os fatos históricos. Todavia percebe-se a preocupação dos autores em apresentar informações e relacionadas ao cotidiano, mesmo que em sua maioria isso seja feito de forma superficial.

Sendo assim, a forma de apresentação do conteúdo histórico e contextual nos livros de Ensino Médio analisados parece-nos insatisfatória, uma vez que, de acordo com as teorias que sustentam esse trabalho, a compreensão dos conceitos deve ocorrer em uma perspectiva sócio-histórica de modo que os estudantes possam atribuir sentido ao campo de estudo, percebendo a evolução da área e sua importância no cotidiano (VYGOTSKY, 1993; VERGNAUD, 1982). Se a história ou até mesmo os exemplos relacionados ao cotidiano são tratados como uma mera informação adicional ou uma “curiosidade”, os estudantes podem receber a mensagem que nomes e fórmulas são o foco de estudo e que a compreensão dos demais aspectos são desnecessárias ou irrelevantes. Ainda mais quando consideramos o fato que estudantes podem não compreender fenômenos que não são relacionados ao seu cotidiano e isso seria um fator motivacional importante para o aprendizado (BERNARDELLI, 2014; GABEL, 1993).

5.2.1 Análise dos Livros Didáticos de Ensino Superior¹⁰

Quanto a *Informação histórica relacionada aos cientistas*, todos os livros analisados mencionam cientistas que fizeram parte do desenvolvimento da estereoquímica (Quadro 4). Após identificação dos nomes mencionados no capítulo que aborda a estereoquímica utilizamos as classificações proposta por Leite para identificar a presença de informações sobre a vida do

¹⁰Esses resultados foram aceitos para publicação na Revista Acta Scientiae: RAUPP, D. T., DEL PINO, J. C **Estereoquímica no Ensino Superior**: historicidade e contextualização em livros didáticos de Química Orgânica.

cientista, como *dados biográficos* (nascimento, morte, nacionalidade etc), *características pessoais* (casado com, herdou a fortuna da família, foi preso etc) e, por fim, *episódios* (contribuições científicas desenvolveu..., recebeu prêmio, descobriu... etc).

Quadro 4 - Tipo e organização da informação histórica – Cientistas.

	LIVRO A	LIVRO B	LIVRO C	LIVRO D
Cientistas mencionados	Emmil Fischer Robert Sidney Cahn Sir Christopher Ingold Vladmir Prelog John Cornforth Willian Nicol Joseph Alchille Le Bel Jacobus van't Hoff Jean Baptise Biot Louis Pasteur Eilhardt Mitscherlich Johannes Martin Bijvoet Perrdeman Bommel Frank H. Westheimer	Louis Pasteur Jacobus van't Hoff Joseph Alchille Le Bel Robert Sidney Cahn Sir Christopher Ingold Vladmir Prelog	Jean Baptise Biot Louis Pasteur Robert Sidney Cahn Sir Christopher Ingold Vladmir Prelog Johannes Martin Bijvoet	René Just Hauy Willian Nicol Louis Pasteur Jacobus van't Hoff Joseph Alchille Le Bel Emmil Fischer Johannes Martin Bijvoet Robert Sidney Cahn Sir Christopher Ingold Vladmir Prelog
Vida dos Cientistas	Informações Biográficas (12) Características Pessoais (6) Episódios (12)	Informações Biográficas (0) Características Pessoais (0) Episódios (5)	Informações Biográficas (2) Características Pessoais (2) Episódios (2)	Informações Biográficas (6) Características Pessoais (6) Episódios (6)

Fonte: Autora (2012).

Na classificação “Cientistas Mencionados” foram considerados todos os nomes mencionados em algum momento no decorrer do capítulo; mesmo aqueles que não apresentam informações relativas à sua vida de acordo com a subdivisão “Vida dos cientistas” apresentada no Quadro 1. Depois da identificação dos cientistas mencionados, investigou-se a frequência de citação de cada subdivisão.

Ao analisar o Quadro 4, podemos observar que com exceção do Livro B, que cita apenas episódios dos cientistas, os livros A, C e D apresentam informações históricas que incluem dados biográficos como nascimento, morte, nacionalidade, informações sobre carreira, episódios da vida pessoal, acadêmica e profissional, além das contribuições científicas. Apresentam o nome do cientista no corpo do texto, relacionando-o à sua descoberta/contribuição no campo da estereoquímica. Além disso, apresentam na respectiva página um quadro em destaque que aborda as informações biográficas, características e episódios relacionados aos cientistas.

O Livro A destaca-se pelo detalhamento da informação relacionada aos cientistas, preocupando-se em fornecer informações biográficas e características de doze dos quinze cientistas que são abordados no texto. O subcapítulo *Desenhando enantiômeros* aborda o uso de fórmulas em perspectiva ou projeções de Fischer. “Um atalho – chamado projeção de Fischer – para mostrar o arranjo tridimensional dos átomos ligados a um carbono assimétrico foi inventado por Emil Fischer no final do século XVII” (BRUICE, 2006, p.185). Após atribuir a invenção e explicar cada um dos elementos da projeção, bem como os conceitos a ela relacionados, o autor apresenta um quadro de destaque com uma foto do cientista e o seguinte trecho:

Emil Fischer (1852-1919) nasceu numa vila próxima a Colônia, na Alemanha. Tornou-se químico contra a vontade de seu pai, um comerciante de sucesso que gostaria de ver seu filho no negócio da família. Foi professor de Química na Universidade de Erlangen, Würzburg, e de Berlim. Em 1902 recebeu o Prêmio Nobel de química por seu trabalho a respeito dos açúcares. Durante a Primeira Guerra Mundial, organizou a produção química da Alemanha. Dois de seus três filhos morreram na guerra (BRUICE, 2006, p.185).

Nesse pequeno parágrafo o autor traz informações biográficas, características da vida acadêmica, pessoal e profissional; além de comentar alguns episódios. Em relação a forma de apresentação da informação histórica, o Livro A é o único que apresenta imagens dos cientistas. Nesse livro os cientistas Bijvoet, Peerdman e Van Bommel são os únicos que não aparecem com destaque especial na formatação do livro, contendo apenas a informação de que os químicos são de nacionalidade alemã e estão relacionados com o desenvolvimento de uma técnica para determinação da configuração absoluta das substâncias. Também é o livro que cita o maior número de episódios, comentando sobre quando Vladimir Prelog “fugiu para Suíça pouco antes da invasão do exército Alemão” (BRUICE, 2006, p.186) ou quando Biot “foi preso por fazer parte de um movimento de rua durante a Revolução Francesa” (BRUICE, 2006, p.192).

No Livro C seis cientistas são citados, mas informações relativas à suas vidas são destacadas apenas para dois: Jean Baptise Biot e Louis Pasteur Jacobus subcapítulo *Pasteur descobre os enantiômeros*. No trecho a seguir podemos verificar a descrição do início da pesquisa de Pasteur sobre os enantiômeros.

Muito pouco foi feito após a descoberta da atividade óptica por Biot até que Pasteur iniciasse seu trabalho em 1849. Pasteur teve sua formação acadêmica em química, mas se interessava pelo estudo da cristalografia. Ele começou a trabalhar com os sais cristalinos do ácido tartárico obtidos a partir do vinho e estava repetindo algumas medidas publicadas alguns anos antes quando fez uma descoberta surpreendente (MCMURRY, 2005, p.276).

No livro B, não são evidenciadas informações relativas a vidas dos cientistas. Apesar de conter um subcapítulo denominado *Origem histórica da Estereoquímica*, que apresenta menos de uma página de conteúdo, há destaque apenas para episódios como, a crítica de Kolbe à vant' Hoff, as ideias de Le Bel, e o comentário “o Prêmio Nobel de Química em 1901 foi concedido a J.H. van't Hoff” (SOLOMONS; FRYHLE, 2001, p.183). Ao referir-se aos cientistas Robert Sidney Cahn, Sir Christopher Ingold, Vladimir Prelog no subcapítulo que trata sobre regras de sequência para a especificação do sistema *R, S* com a seguinte colocação: “três químicos, R.S. Cahn (Inglaterra), C.K. Ingold (Inglaterra), V. Prelog (Suíça) desenvolveram um sistema de nomenclatura [...]” (SOLOMONS; FRYHLE, 2001, p.184).

Quanto a *Evolução da Ciência* buscou-se relacionar fatos onde é possível identificar o papel dos cientistas no desenvolvimento dessa área. Esses fatos relacionados à evolução da estereoquímica podem ser encontrados no Quadro 5. A seguir, os fatos encontrados foram classificados quanto ao tipo de evolução. Nessa dimensão a categoria “Menção a uma descoberta científica” revela superficialidade quanto à informação histórica uma vez que apenas menciona o fato, enquanto a categoria “Descrição de uma descoberta científica”, descreve com maiores detalhes os aspectos referentes à descoberta.

Quadro 5 - Informação histórica relacionada à evolução da estereoquímica.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D
Fato relacionado à evolução da estereoquímica	Criação da Projeção de Fischer Nomenclatura R, S Descoberta da quiralidade Separação de enantiômeros	Descoberta da estereoquímica Separação de enantiômeros Nomenclatura R, S	Atividade óptica Descoberta dos enantiômeros Nomenclatura R, S	Polarímetro Descoberta da Quiralidade Talidomida Nomenclatura R, S Convenção D,L Fischer- Rossanof
Tipo de evolução	Menção a uma descoberta científica Descrição de uma descoberta científica	Menção a uma descoberta científica	Menção a uma descoberta científica Descrição de uma descoberta	Menção a uma descoberta científica Descrição de uma descoberta

Fonte: Autora (2012).

O sistema de nomenclatura *R,S* é um fato citado por todos os autores. No Livro A, a criação é classificada como *Menção a uma descoberta*, pois no subcapítulo que trata da nomenclatura de isômeros a única referência que pode ser encontrada sobre esse fato é: “Para qualquer par de enantiômeros com um carbono assimétrico um deles terá a **configuração R** e o outro terá a **configuração S**. O sistema *R,S* inventado por Cahan, Ingold e Prelog” (BRUICE, 2006, p. 185). A mesma descoberta é descrita no livro D como uma evolução na resolução de um problema nesse campo e por isso é classificada como “Descrição de uma descoberta”:

Embora seja possível representar os diversos isômeros com fórmulas tridimensionais, é difícil traduzir em palavras o arranjo espacial dos átomos nas moléculas. Para resolver esse problema, os químicos ingleses R.S. Cahan e C. Ingold, juntamente ao suíço V. Prelog, propuseram um sistema de nomenclatura que, associado as regras da IUPAC já apresentadas, permitisse descrever claramente os estereoisômeros de determinado composto (BARBOSA, 2011, p.151).

O Livro A apresenta uma descrição bem detalhada sobre a descoberta da atividade óptica. A descrição que ocupa três páginas do capítulo detalha o experimento com a luz plano polarizada tanto com o primeiro prisma desenvolvido quanto com o polarímetro. Cita os cientistas envolvidos nos experimentos, apresenta os conceitos de substância opticamente ativas e inativas, diferencia as denominações *dextro* e *levo* do sistema de nomenclatura *R,S* e demonstra os cálculos utilizados na determinação da rotação específica das substâncias. O livro A traz a descrição da descoberta da determinação da configuração absoluta para todas as substâncias, conforme verificamos no trecho a seguir:

Em 1951, os químicos alemães J.M. Bijvoet, A.F. Ferrdeman e A.J. Bommel usando cristalografia de raio X e uma nova técnica conhecida como dispersão anômala, determinaram que o sal de rubídio e sódio no ácido tartárico tinha configuração *R,R*. Como o ácido (+) - tartárico poderia ser sintetizado a partir do (-) - gliceraldeído, esse último tinha de ser o enantiômero *S*. A suposição que do (+) - gliceraldeído tinha a configuração *R* correta (BRUICE, 2006. P.209). E no livro C encontramos uma descrição minuciosa sobre a descoberta e separação de enantiômeros por Pasteur em 1849, como podemos observar em um trecho do subcapítulo *Pasteur descobre os enantiômeros*.

Ao recrystalizar uma solução concentrada de tartarato de amônio abaixo de 28°C, observou a precipitação de dois diferentes cristais. Pasteur também observou que esses cristais eram imagem especular um do outro e estavam relacionados entre si do mesmo modo como a mão direita se relaciona com a esquerda. Trabalhando cuidadosamente com uma pinça, Pasteur foi capaz de separar os cristais em duas porções, uma de cristais “destros” e outra de cristais “sinistros”[...] (MUCMURRY, 2005, P.276).

No Livro B temas que são considerados como parte da evolução da estereoquímica como, por exemplo, a atividade óptica e a quiralidade, que poderiam ser abordados dentro de uma perspectiva de evolução da área que são abordados apenas de forma conceitual.

Quanto ao conteúdo relacionado ao cotidiano, buscou-se identificar os aspectos que são abordados de forma contextualizada, a aplicação dessa informação e se a mesma era fundamental, estando contida ao longo do texto ou até mesmo com destaque em quadros ou subseção, ou era apenas uma informação complementar, sem destaque e que pode até mesmo passar despercebida pelos estudantes (Quadro 6).

Quadro 6 - Relações com o cotidiano.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D
Ocorrências contextualizadas	Tetraciclina Glutamato monossódico Naxopreno Clorafenicol Efedrina Ácido tartárico Carvona Talidomida Colesterol Fármacos Quirais Enzimas	Trepadeira Limoneno Talidomida Carvona Metildopa Penicilamina Ibuprofeno Naxopreno DNA	Carvona Nootkatona Cicutina Mentol Dextrometorfano Treose Enflurano Alanina Limoneno Fluoxetina Penicilina Ibuprofeno	Cristais de Quartzo Bactérias Trepadeira Caracol Aspargina Carvona Talodomida Placobutrazol
Status da informação contextual	Complementar (9) Fundamental (2)	Fundamental (9)	Complementar(12)	Complementar (4) Fundamental (4)

Fonte: Autora (2012).

Nos livros A, C e D as relações são apresentadas de maneira complementar, em alguns casos com uma simples menção, em exercícios ou no final do capítulo. O Livro A em um de seus problemas resolvidos, apresenta a seguinte questão seguida pela estrutura da tetraciclina: “A tetraciclina é chamada antibiótico de amplo espectro porque é ativa contra uma grande quantidade de bactérias. Quantos carbonos assimétricos o tetraciclina possui” (BRUICE, 2006, p.183). Situação igual ocorre para o realçador de sabor Glutamato monossódico, o anti-inflamatório Naxopreno, o antibiótico Clorafenicol, o broncodilatador Efedrina. A talidomida e os Fármacos quirais são abordados em um quadro de destaque no subcapítulo que aborda a *Discriminação de enantiômeros por moléculas biológicas*.

Nesse mesmo subcapítulo encontramos dois exemplos de informação fundamental onde duas substâncias são apresentadas em um contexto importante para a compreensão do conceito. O primeiro exemplo aborda o reconhecimento de enantiômeros por moléculas quirais e o uso de enzimas na separação enantiomérica. O segundo exemplo aborda a diferença de odor detectado por nossos receptores localizados nas células nervosas do nariz que diferenciam os isômeros da Carvona.

O Livro B tem um subcapítulo que aborda especificamente os Fármacos Quirais, citando Fármacos como anti-hipertensivos, antibióticos e analgésicos. Aborda qual dos isômeros tem ação farmacológica desejada, questões sobre misturas racêmicas e separação enantiomérica. Ressalta ainda a importância da síntese estereoseletiva e comenta sobre o prêmio Nobel de 2001. Todos exemplos são abordados de forma contextualizada com os conceitos que estão sendo apresentados.

No livro C todas as ocorrências estão presentes nos exercícios e problemas do capítulo. O Livro D apresenta na introdução do capítulo uma abordagem centrada em fatos relacionados ao cotidiano para relacionar elementos como cristais de quartzo, bactérias, trepadeiras e caracóis ao conceito de quiralidade e cita “Há diversos outros exemplos de manifestação de quiralidade na natureza, até mesmo em nível molecular [...]” (BARBOSA, 2011, p.145). Mas os exemplos em nível molecular são apresentados apenas como informação complementar citando: “Apesar de muito parecidas, as substâncias quirais podem apresentar várias propriedades, como cheiro e sabor, além de diversas propriedades biológicas, completamente diferentes, conforme ilustrado na Figura [...]” (BARBOSA, 2011, p.148).

De maneira geral, os livros analisados apresentam informações históricas e relacionadas com o cotidiano. Alguns com destaque, outros como uma informação complementar. Os principais cientistas que fazem parte da construção desse campo também são citados, apenas um dos livros não apresenta informações biográficas dos cientistas citados ao longo do texto.

A análise desses livros didáticos utilizados no Ensino Superior revela a preocupação dos autores em apresentar informações históricas e relacionadas com o cotidiano, mesmo que em diferentes níveis de aprofundamento e com abordagens distintas. Informações fazem desses livros didáticos valiosos recursos para um ensino de estereoquímica aos professores que buscam uma abordagem mais ampla do tema e não somente restrito a conceitos científicos, como classificação, estruturas, propriedades e nomenclatura.

5.3 Validação da Unidade

A unidade de ensino foi enviada para um total de nove professores. Destes, oito retornaram a avaliação. Aqui destacamos apenas alguns dos comentários gerais.

No item *uso dos conceitos*, não foram apontadas necessidades de correções conceituais, apenas foi sugerido o uso de algumas explicações mais simples que facilitam a compreensão pelos estudantes. A questão falta de conceitos fundamentais não foi observada, porém há sugestões para explicar de uma forma mais simples e associar mais imagens para assim poder atender o requisito de clareza desejado para ser considerado adequado para uso no Ensino Médio, já que o Avaliador 4 considerou que o texto estaria mais adequado para o Ensino Técnico. O Avaliador 2 considera que “o material é didático e consistente para estudantes de graduação e de cursos técnicos”. O Avaliador 2 ainda afirma que o mesmo seria muito denso para o Ensino Médio.

No quesito *aspectos históricos* foi apontado que faltam as fotos de alguns cientistas mencionando de acordo com o Avaliador 1. O texto foi considerado interessante e o Avaliador 5 destaca a parte inicial: “quando a estereoquímica foi apresentada e de certa forma, ridicularizada”. O Avaliador 5 comenta que: Ele contém informações históricas muito importantes que ajudam o estudante a entender um pouco da forma como o conhecimento científico é construído.

Sobre os *aspectos contextuais* o Avaliador 4 sugere a inclusão de mais alguns exemplos de compostos do cotidiano dos estudantes como os solventes e ou medicamentos de uso popular não de prescrição. De acordo com o Avaliador 5, “a proposta está bem elaborada e traz aspectos como o histórico e a relação com o cotidiano que a diferenciam dos textos disponíveis na literatura”. O Avaliador E considera que partes do texto apresentam um problema da linguagem um pouco distante dos alunos e sugere usar um texto mais apropriado para esta faixa etária como os encontrados na revista *Superinteressante*.

Finalmente, sobre os *Aspectos de visualização tridimensional*, O Avaliador 5 comenta que “o uso do software pode auxiliar o aluno no estudo de estereoquímica, mas acho que poderia ser melhor explorada, com o uso de mais exemplos”. O Avaliador 2 comenta que usar software para uso didático é uma tendência que veio para ficar. Os alunos gostam porque aproxima a teoria para a compressão dos alunos, somando o caráter lúdico que os modelos tridimensionais proporcionam, facilitando o entendimento.

Dois avaliadores sugerem o uso de aplicativos 3D para Tablets e Smartphones, pois de

acordo com o Avaliador 2 “às vezes é mais fácil os alunos terem seus celulares, do que haver um computador na aula. Acho que deves incluir esta possibilidade no teu material.” De uma forma geral, os avaliadores consideram a proposta interessante e relevante. A partir das considerações recebidas, algumas alterações foram realizadas na unidade antes do experimento com os alunos.

5.4 Resultado do experimento com alunos do Ensino Médio Técnico

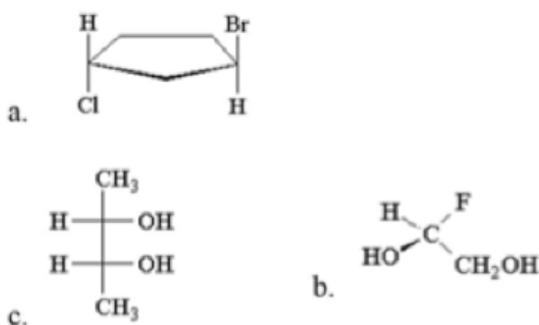
Os resultados apresentam primeiramente as questões objetivas dos pré e pós-testes.

5.4.1 Questão 1: Carbono assimétrico

Para responder corretamente essa questão, esperava-se que os estudantes utilizassem os conhecimentos relacionados a carbono assimétrico e centro quiral. Um carbono assimétrico (ou centro assimétrico, ou ainda centro quiral) é um átomo que está ligado a quatro grupos diferentes (BRUICE, 2014). A questão 1 apresentava a seguinte instrução: Determine qual (is) desses compostos tem carbono assimétrico (centro quiral). As figuras 27 e 28 contêm as estruturas utilizadas no pré e pós-teste, respectivamente.

Figura 27 – Questão 1 - Pré-teste.

Questão 1: Determine qual (is) desses compostos tem carbono assimétrico (centro quiral).



d. Todos

Justificativa

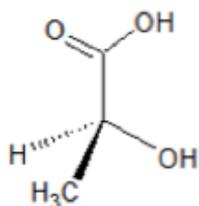
1. Moléculas são não superponíveis com suas imagens especulares.
2. Moléculas são superponíveis com suas imagens especulares.
3. O carbono quiral não está ligado a quatro diferentes grupos.
4. Eles não tem um plano de simetria.

Fonte: Autora (2014).

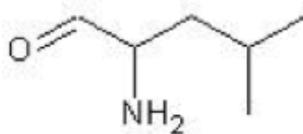
Figura 28 - Questão 1 - Pós- teste.

Questão 1: Determine qual (is) desses compostos tem carbono assimétrico (centro quiral).

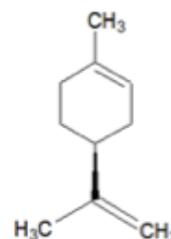
a)



b)



c)



d. Todos

Justificativa

1. Moléculas não são superponíveis com suas imagens especulares.
2. Moléculas são superponíveis com suas imagens especulares.
3. O carbono quiral não está ligado a quatro diferentes grupos.
4. Eles não tem um plano de simetria.

Fonte: Autora (2014).

Em ambas as situações, as moléculas A, B e C possuem ao menos 1 carbono quiral. Todos os compostos apresentavam ao menos um carbono assimétrico, sendo, portanto a alternativa “D” a correta e a justificativa a alternativa 1. Moléculas são não superponíveis com suas imagens especulares”. Sendo assim o conjunto D1(*) expressa a correta relação entre resposta e justificativa.

A Tabela 3 apresenta os resultados para essa questão. Apesar do conceito de carbono assimétrico ser um requisito básico para a compreensão da estereoquímica, no pré-teste apenas 14,28% dos estudantes escolheram a combinação resposta-justificativa correta. Um total de 22,44% escolheu a resposta correta, sendo capaz de identificar a presença de carbono assimétrico em todas as estruturas apresentadas. A alternativa A, único composto cíclico, de forma interessante não foi assinalada por nenhum estudante.

Tabela 3 - Resultados para questão centros quirais.

Turmas 2º ano 2014/2	Justificativa					
	Pré-teste (49 estudantes)					
	Resposta	1	2	3	4	Total (%)
	A	0	0	0	0	0
	B	25 (51,02)	6(12,24)	4(8,16)	1(2,04)	73,34
	C	1 (2,04)	1(2,04)	1(2,04)		6,12
	D	7*(14,28)	3(6,12)	0	1(2,04)	22,44
	Pós-teste (31 estudantes)					
	Resposta	1	2	3	4	Total (%)
	A	3(9,67)	5(16,12)	1(3,22)	3(9,67)	38,70
B	2 (6,45)	0	1(3,22)	0	9,67	
C	1 (3,22)	0	1(3,22)	0	6,45	
D	9*(29,03)	2(6,45)	2(6,45)	1(3,22)	45,16	

Fonte: Autora (2014).

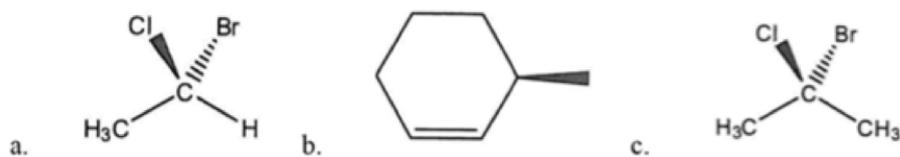
No pós-teste 45,16% dos estudantes foram capazes de identificar corretamente a presença do carbono assimétrico nas moléculas A, B e C. Esse conceito foi abordado na Unidade Didática. A alternativa A foi a segunda alternativa mais escolhida, essa é a única que apresenta a molécula com todas as ligações representadas, o que não ocorre nas moléculas B e C. Nas moléculas B e C os estudantes precisam “completar a molécula” com os hidrogênios que não estão representados, para então verificar a presença ou não de um carbono assimétrico. Como constatado em pesquisas preliminares os estudantes tendem a ter mais dificuldades de identificar a presença de isomeria em compostos de cadeia fechada (RAUPP, 2010). Outro fator é a interpretação do termo “quatro diferentes grupos” ser limitada a átomos ligados diretamente no carbono e não considerar o que está contido ao longo do anel. 29,03 % dos estudantes escolheram a combinação resposta-justificativa correta.

5.4.2 Questão 2 : Enantiômeros

Enantiômeros são moléculas quirais que formam imagens especulares uma da outra e não sobreponíveis (BRUICE, 2014). A questão 2 dos testes buscou analisar a compreensão dos estudantes sobre a questão da quiralidade e da possibilidade da molécula formar enantiômeros. As figuras 29 e 30 apresentam as estruturas utilizadas no pré e pós-teste, respectivamente.

Figura 29 - Questão 2 - Pré-teste.

Questão 2: Qual dos compostos não possui um enantiômero.



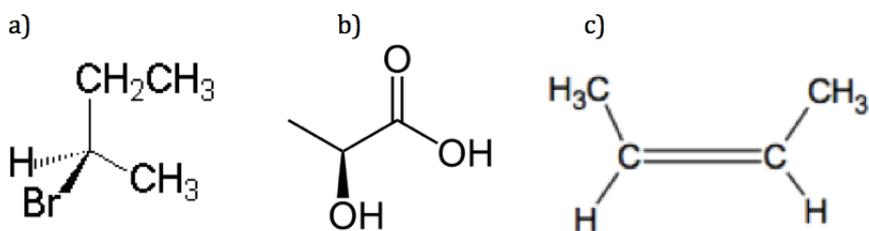
Justificativa

1. Tem um centro quiral.
2. Não tem um plano de simetria.
3. É aquiral.
4. É uma molécula quiral sem centro quiral.

Fonte: Autora (2014).

Figura 30 - Questão 2 - Pós-teste.

Questão 2: Qual dos compostos não possui um enantiômero.



Justificativa

1. Tem apenas um centro quiral.
2. Não tem um plano de simetria.
3. É aquiral.
4. É uma molécula quiral sem centro quiral.

Fonte: Autora (2014).

Em ambos os testes a molécula “C” é aquiral. No pré-teste na molécula C o átomo de carbono possui dois ligantes iguais (-CH₃) e no pós-teste a molécula C não possui carbono

tetraédrico devido à ligação dupla. Portanto, o conjunto C3(*) expressa a correta relação entre resposta e justificativa em ambos os testes. A Tabela 3 apresenta os resultados. No pré-teste 46,94% dos estudantes escolherem a molécula correta, sendo que 40,82% escolheram a correta combinação resposta-justificativa.

Tabela 4 - Resultados para questão sobre enantiômeros.

		Justificativa				
		Pré-teste (49 estudantes)				
Turmas 2º ano 2014/2	Resposta	1	2	3	4	Total (%)
	A	3(6,12)	0	0	0	6,12
	B	0	8(16,32)	14(28,57)	1(2,04)	46,94
	C	1(2,04)	1(2,04)	20*(40,82)	1(2,04)	46,94
	Pós-teste (31 estudantes)					
	Resposta	1	2	3	4	Total (%)
	A	2(6,45)	3(9,67)	0	0	16,12
	B	1(3,22)	2 (6,45)	2(6,45)	2(6,45)	22,58
	C	0	0	16*(51,61)	3(9,67)	61,30

Fonte: Autora (2014).

Curiosamente, o mesmo percentual de escolha para molécula B (incorreta), uma molécula de cadeia fechada que contém um carbono assimétrico e é um enantiômero. A molécula A apresenta claramente 4 ligantes diferentes, mesmo assim, um pequeno número de estudantes, 6,12% escolheu a combinação A1; justificando assim que a molécula é aquiral pois possui apenas um centro quiral. Isso indica a compreensão errônea de quiralidade e sua relação com o enantiomerismo, uma vez que o enantiomerismo está associado à presença de ao menos um carbono quiral na molécula.

5.4.3 Questão 3: Quiralidade

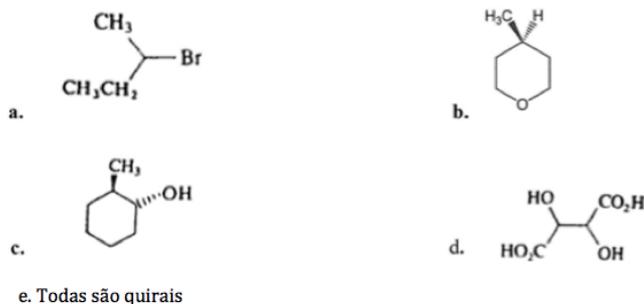
Qualquer molécula aquiral apresenta ao menos um plano de simetria, e, portanto tem uma imagem especular sobreponível (BRUICE, 2014). Geralmente é esperado que os estudantes analisem cada molécula baseado no seu plano de simetria, qualquer erro pode levar a uma compreensão errônea do conceito de quiralidade. (VISHNUMOLAKALA, 2013).

A correta combinação para essa questão em ambos os testes (Figura 31) é B4, pois a molécula B possui um plano de simetria interno e sua imagem especular é idêntica a original. Uma das outras formas de identificar uma molécula aquiral é a ausência de um carbono quiral,

uma vez que a causa mais comum de quiralidade em moléculas orgânicas é a presença de um carbono quiral (MCMURRY, 2005).

Figura 31 - Questão 3 - Pré e pós-teste.

Questão 3: Identifique as moléculas aquirais.



Justificativa

1. A molécula não tem plano de simetria, portanto não é quiral.
2. Suas imagens especulares não são idênticas.
3. O estereocentro é ligado a quatro diferentes grupos.
4. Suas imagens especulares são idênticas à original, portanto a molécula não é quiral.

Fonte: Autora (2014).

Na Tabela 5, identificamos que no pré-teste 28,57% dos estudantes escolheram a molécula B, mas somente 12,2% escolheram a combinação resposta-justificativa correta. Mais da metade dos estudantes escolheu incorretamente a molécula C (51,02%). Sendo que 28,57% escolheram a molécula errada, porém a justificativa correta. A molécula C, assim como as demais, possui ao menos um carbono assimétrico.

Tabela 5 - Resultados para questão sobre quiralidade.

		Justificativa				
		Pré-teste (49 estudantes)				
Turmas 2º ano 2014/2	Respost	1	2	3	4	Total (%)
	A	0	0	1(2,04)	0	2,04
	B	6(12,2)	1(2,04)	1(2,04)	6* (12,2)	28,57
	C	6(12,2)	1(2,04)	4(8,16)	14(28,57)	51,02
	D	2(4,08)	2(4,08)	1(2,04)	2(4,08)	14,29
	E	0	0	2(4,08)	0	4,08
	Pós-teste (31 estudantes)					
	Respost	1	2	3	4	Total (%)
	A	2 (6,45)	0	2(6,45)	0	12,90
	B	1(3,22)	0	0	6*(19,35)	22,58
	C	1(3,22)	1(3,22)	1(3,22)	3(9,68)	19,35
D	1(3,22)	2(6,45)	0	2 (6,45)	16,13	
E	0	2(6,45)	7(22,58)	0	29,03	

Fonte: Autora (2014).

No pós-teste a mesma questão foi apresentada, e apenas 12,2% escolheram a combinação correta, o que significa que o absoluto de estudantes que marcou a resposta correta permaneceu inalterado. A identificação do plano de simetria é uma das fontes de dificuldades para o ensino da química molecular, uma vez que a visualização das estruturas moleculares e seus elementos, como simetria e disposição, é essencial para o entendimento de diversos aspectos (NÚÑEZ, 2008).

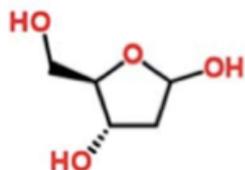
5.4.4 Questão 4: Número de estereoisômeros possíveis

Para a questão 4, os estudantes precisavam identificar o número de estereocentros, para então calcular o número máximo de estereoisômeros possíveis. Em compostos cujo estereoisomerismo se deve aos centros quirais, “o número total de estereoisômeros não excederá 2^n , onde n é igual ao número de centros de quiralidade.” (SOLOMONS, 2009, p.197).

No pré-teste os estudantes analisaram a molécula 2-desoxiribose (Figura 32) que contém 5 átomos de carbono. Desses 5, 3 são estereocentros, portanto, resultam em 8 possibilidades de estereoisômeros. Assim, nessa etapa, a resposta correta é a combinação A2.

Figura 32 - Questão 4 - Pré-teste.

Questão 4: A 2-desoxiribose contém cinco átomos de carbono incluindo um grupo funcional aldeído. É derivada da ribose por substituição do grupo hidroxila na posição 2 por hidrogênio, resultando na perda de um átomo de oxigênio. Participa na composição do DNA (ácido desoxirribonucleico).



Quantos estereoisômeros são possíveis para a 2-desoxiribose?

- a) 8
- b) 6
- c) 4
- d) 0

Justificativa

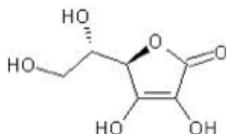
1. Presença de 4 carbonos assimétricos.
2. Presença de 3 carbonos assimétricos.
3. Presença de 2 carbonos assimétricos.
4. A regra 2^a é válida apenas para moléculas acíclicas.

Fonte: Autora (2014).

Já no pós-teste, os estudantes analisaram a molécula do ácido ascórbico (Figura 33), a mesma possui 6 átomos de carbono, destes 2 são estereocentros portanto resultam em 4 possibilidades de estereoisômeros. Assim, nessa etapa, a resposta correta é a combinação C3.

Figura 33 - Questão 4 - Pós- teste.

Questão 4: O químico americano Linus Pauling é conhecido, principalmente, por ter recebido o Prêmio Nobel de Química, em 1954, pelo seu trabalho sobre ligações dos átomos e formação das substâncias, dedicou-se também ao estudo da vitamina C (ácido ascórbico), molécula que considerava importante para a prevenção e a cura de várias doenças. Analise a molécula da vitamina C e calcule quantos estereoisômeros possíveis.



- a) 8
- b) 6
- c) 4
- d) 2

Justificativa

1. Presença de 4 carbonos assimétricos.
2. Presença de 3 carbonos assimétricos.
3. Presença de 2 carbonos assimétricos.
4. A regra 2^a é válida apenas para moléculas acíclicas.

Fonte: Autora (2014).

Analisando a Tabela 6, observa-se que no pré-teste 32,65% dos estudantes escolheram a opção correta, identificando o número de estereoisômeros possíveis, mas somente 26,53% identificou corretamente a justificativa. Um total de 67,35% dos estudantes respondeu incorretamente a questão o que indica a um problema de compreensão na associação do número de estereocentros e o número resultante de isômeros. (VISHNUMOLAKALA, 2013).

No pós-teste o percentual de estudantes que identificou corretamente o número de estereoisômeros foi 45,16% sendo que desses somente 35,48% indicaram a justificativa correta. Esse resultado indica que a regra 2ⁿ não foi aplicada para a resolução da questão.

Tabela 6 – Resultado para a questão número de estereoisômeros possíveis.

		Justificativa				
		Pré-teste (49 estudantes)				
Turmas 2º ano 2014/2	Resposta	1	2	3	4	Total (%)
	A	3(6,12)	13*(26,53)	0	0	32,65
	B	0	7(14,28)	0	0	14,28
	C	7(14,28)	0	9(18,37)	0	32,65
	D	0	1(2,04)	0	9(18,37)	20,41
	E	0	0	0	0	0
	Pós-teste (31 estudantes)					
	Resposta	1	2	3	4	Total (%)
	A	1(3,22)	0	0	0	3,22
	B	0	1(3,22)	0	0	3,22
	C	1(3,22)	1(3,22)	11*(35,48)	1(3,22)	45,16
D	2(6,45)	1(3,22)	11(35,48)	1(3,22)	48,39	
E	0	0	0	0	0	

Fonte: Autora (2014).

5.4.5 Questão 5: Visualização espacial

Essa questão proposta no teste original tem por objetivo analisar a habilidade de visualizar a molécula no espaço. No pré-teste a orientação dos átomos na molécula do pent-4-en-2-ol no espaço parece diferente, no entanto as moléculas são idênticas (Figura 33). Com duas rotações é possível alterar a primeira molécula. Em comparação elas são superponíveis, mas não são imagens especulares. Por essa razão, a correta relação para essa questão é a D4.

Já no pós-teste os estereoisômeros do but-2-eno (Figura 34) são moléculas que não são imagens especulares uma da outra, a diferença entre ambas consiste em que os ligantes iguais estão do mesmo lado do plano em um (isômero *cis*) e em lados opostos do plano no segundo isômero (isômero *trans*). Sendo assim, C2 é a correta combinação para essa questão.

Figura 34 - Questão 5 - Pré-teste.

Questão 5: Qual a melhor descrição para a relação entre essas duas moléculas?



- São enantiômeros.
- São isômeros constitucionais.
- São diastereoisômeros.
- São idênticas.

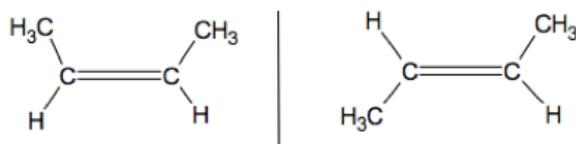
Justificativa

- Moléculas são não superponíveis, imagens especulares.
- Moléculas não são superponíveis e não são imagens especulares.
- Essas moléculas tem a mesma fórmula molecular e diferente conectividades.
- Moléculas são superponíveis e não são imagens especulares.

Fonte: Autora (2014).

Figura 35 - Questão 5 - Pós-teste.

Questão 5: Qual a melhor descrição para a relação entre essas duas moléculas?



- São enantiômeros.
- São isômeros constitucionais.
- São diastereoisômeros.
- São idênticas.

Justificativa

- Moléculas não são superponíveis, mas são imagens especulares.
- Moléculas não são superponíveis e não são imagens especulares.
- Essas moléculas tem a mesma fórmula molecular e diferente conectividades.
- Moléculas são superponíveis e não são imagens especulares.

Fonte: Autora (2014).

No pré-teste somente 14,28% dos estudantes optou pela opção correta que define as estruturas como idênticas. Mas somente um estudante (2,04%) escolheu a combinação correta resposta-justificativa. Já no pós-teste 32,26% dos estudantes optaram pela opção correta que define as estruturas como diastereoisômeros, mas somente 6,45% atribuíram a justificativa correta.

Tabela 7 – Resultado da questão sobre visualização.

		Justificativa				
		Pré-teste (49 estudantes)				
Turmas 2º ano 2014/2	Resposta	1	2	3	4	Total (%)
	A	26 (53,06)	1(2,04)	2 (4,08)	7(14,28)	73,47
	B	1(2,04)	3(6,12)	0	0	8,16
	C	1(2,04)	4 (8,16)	1(2,04)	1(2,04)	14,28
	D	0	0	1(2,04)	1*(2,04)	4,08
	E	0	0	0	0	0
	Pós-teste (31 estudantes)					
	Resposta	1	2	3	4	Total (%)
	A	7(22,58)	2(6,45)	4(12,9)	1(3,22)	45,16
	B	0	4(12,90)	3(9,68)	0	22,58
	C	1(3,22)	2*(6,45)	7(22,58)	0	32,26
D	0	0	0	0	0	
E	0	0	0	0	0	

Fonte: Autora (2014).

Essa dificuldade em determinar relações asseadas na estrutura espacial está relacionada com a dificuldade em visualizar e manipular mentalmente a representação tridimensional, uma vez que essa habilidade não é dominada por todos os estudantes (KOZMA; CHIN; RUSSEL; MARX, 2000; KEIG; RUBBA, 1993); em especial a transição 2D para 3D como é apresentada na questão 5.

5.4.6 Questão sobre história da estereoquímica

Nessa etapa, em ambos os testes, o estudante foi questionado da seguinte forma: *Você conhece a história do desenvolvimento da estereoquímica? Então escreva sobre essa história (fatos, descobertas, cientistas envolvidos etc.).*

A Tabela 8 apresenta um pequeno resumo comparativo entre pré e pós-teste.

Tabela 8 – Conhecimento histórico.

Pré-teste 49 estudantes		
Resposta		Total (%)
Não	39	79,6
Sim	10	20,4
Pós-teste 20 estudantes		
Resposta		Total (%)
Não	3	15,0
Sim	17	85,0

Fonte: Autora (2014).

Dentre os 49 alunos que participaram do pré-teste 39 não conhecem nada sobre a história do desenvolvimento da estereoquímica, e três estudantes enfatizam que esse aspecto não foi abordado em aula.

Verificou-se que seis estudantes comentam o caso da Talidomida para responder essa questão. O Estudante 7 considera que a estereoquímica foi constatada devido ao problema com esse fármaco: “a única coisa que lembro é que foi descoberta por causa de um remédio, que era mistura de 2 enantiômeros, e que era usado contra enjoos de grávidas”. Entretanto, o estudante 18 afirma que o problema com o fármaco ocorreu quando a comunidade científica já conhecia o fenômeno: depois de já descoberta a existência dos isômeros (R e S), ocorreu um problema com a manipulação de um remédio (Talidomida), que era vendida em misturas racêmicas (R e S juntos), porém, um deles tinha efeitos que faziam com que os bebês das grávidas que o ingerissem nascessem deformados. Assim, depois disso, começaram a ter mais cuidados e testar os efeitos tanto do R quanto do S.

No pós-teste 16 estudantes afirmaram conhecer ao menos algum aspecto da história da estereoquímica, maioria destaca o início do desenvolvimento da área que foi apresentado na unidade de ensino. O Estudante 10 afirma: “logo que o primeiro cientista propôs a ideia de existirem moléculas com diferentes arranjos tridimensionais, foi alvo de críticas pela sociedade científica da época, que achava isso ‘uma loucura’”.

O Estudante 9 destaca os cientistas Wohler e Berzelius e o episódio de descrença em sua constatação. “Na história mostra que muitos cientistas não acreditavam na hipótese de uma molécula ter uma geometria diferente no espaço [...]”. O Estudante 14 também destaca essa constatação: “Podemos através do projeto (Unidade de Ensino) observar e aprender mais sobre a história principalmente [...] onde os primeiros fatos sobre as descobertas foram recebidos com

descrédito, ganhando ao longo do tempo cada vez mais espaço como as descobertas dos desvios de luz polarizada, o uso de misturas racêmicas, etc.”.

O Estudante 17 comenta: “no início acreditava-se que as estruturas reais das moléculas eram planas, sem ‘medidas’ tridimensionais. Isso foi quebrado graças a um cientista alemão, o qual determinou e descobriu a existência de duas moléculas e substâncias diferentes, as quais apresentavam a mesma fórmula molecular, sendo diferenciadas entre si pelo arranjo espacial de seus átomos”.

Já o Estudante 4 não comenta nenhum fato e afirma não ter interesse nos aspectos históricos apresentados: “li essa parte do polígrafo sem prestar atenção, pois a história para mim sempre se apresenta de um modo chato, sem atrativos e muitas vezes maçante [...]”.

5.4.7 Questão sobre a estereoquímica no cotidiano

A última questão dos testes tinha por objetivo investigar qual o nível de conhecimento dos estudantes sobre as aplicações e/ou presença da estereoquímica em seu cotidiano: *Na estereoquímica, temos inúmeros exemplos que podem ser relacionados com nosso cotidiano. Você conhece algum exemplo?*

Tabela 9 – Conhecimento sobre aplicações no cotidiano.

Pré-teste 49 estudantes		
Resposta		Total (%)
Não sabem/não lembram	18	36,73
Sim (apenas fármacos)	31	63,24
Sim (outros exemplos)	0	0
Pós-teste 31 estudantes		
Resposta		Total (%)
Não lembram	1	3,22
Sim apenas fármacos)	10	32,26
Sim (outros exemplos)	20	64,52

Fonte: Autora (2014).

No pré-teste dos 49 alunos participantes, 14 afirmaram não saber ou não conhecer nenhum exemplo, 4 afirmaram não se lembrar de nenhuma aplicação no cotidiano e 31 citaram a presença de estereoisômeros na indústria farmacêutica.

Desses 31 estudantes, apenas 12 comentaram de forma geral a presença da estereoquímica na indústria farmacêutica, como é o caso do Estudante 16 ao afirmar que “Muitos remédios são feitos com a estereoquímica”. Do mesmo modo, o Estudante 4 comenta: “A farmácia utiliza-se bastante da estereoquímica na produção dos medicamentos.” Já o Estudante 20 afirma: “Há inúmeros remédios que utilizam estereoisômeros na sua composição.”

No entanto, 19 estudantes do grupo demonstraram um conhecimento menos superficial e comentaram mais detalhadamente a presença de estereoisômeros na indústria farmacêutica, citando exemplos com nomes de medicamentos. O Estudante 21 comenta que “paracetamol, ibuprofeno, ácido acetilsalicílico são alguns exemplos”. O Estudante 27 comenta sobre os efeitos de uma forma bem básica: “nos remédios paracetamol existem enantiômeros, mas um deles não tem efeito, pois é anulado”.

Desses 19 estudantes que comentaram especificamente os medicamentos, 16 estudantes citaram o caso específico do fármaco talidomida. Esse caso é o mais famoso episódio da área e geralmente, como comentado anteriormente na etapa de análise de livros didáticos, é o exemplo mais comum contido nos livros.

A estudante 31 afirma: “conheci o caso da ‘Geração Talidomida’ e quando estudei a matéria tive um melhor entendimento [...] fiquei muito interessada com o ato de compostos enantiômeros terem propriedades tão distintas e causar efeitos tão adversos”. Já o Estudante 22 afirma:

Não que ainda faça tanta parte do nosso dia-a-dia, mas nos anos 60, e no Brasil nos anos 70, na Alemanha foi feito um medicamento com mistura racêmica contra enjoos. O remédio fez muito sucesso entre as grávidas, mas o que não sabiam era que seus bebês nasciam deficientes era uma consequência de um dos enantiômeros do composto orgânico, enquanto o outro aliviava os sintomas da gravidez.

No pós-teste, apenas 1 estudante (3,22%) afirma não lembrar de nenhum exemplo. A relação dos fármacos utilizados 32,26%, no entanto, após a leitura da unidade de ensino, 64,52% dos estudantes mencionaram além dos fármacos, outros exemplos relacionados com o dia-a-dia.

O Estudante 1 comenta sobre os isômeros do limoneno: “o da laranja e limão, onde as moléculas destes são isômeros”. Estudante 8 também destaca os mesmos isômeros e ressalta

outros exemplos: “alguns aromatizantes como limão e laranja são isômeros que fazem parte do nosso cotidiano. Plantas como trepadeiras também, dependendo do isômero a planta se enrola para um lado ou se enrola para o outro.” O Estudante 5 também comenta situações diferentes das relacionadas à área farmacêutica: “está presente nos medicamentos, no sabor de alguns alimentos, na gordura trans e no caso da geração talidomida”.

Da mesma forma o Estudante 8: “odor de limão (limoneno) e o da laranja estão presentes graças aos isômeros que o diferenciam. Algumas bactérias (*Bacillus*, etc), assim como caramujos e algumas plantas, desenvolvem essa quiralidade em seu “corpo”, estrutura, devido a presença em seu DNA. Ácido tartárico, analgésicos, etc.”

O Estudante 22 comenta sobre as características relacionadas aos isômeros do aspartame: “amargo e doce dependendo do isômero”. O Estudante 26 afirma: “a partir do material descobri que até em plantas isso interfere, por exemplo, em algumas espécies de trepadeiras isso indica para que lado ela irá se enroscar”.

Os comentários apresentados no pós-teste são mais elaborados e não se restringem apenas aos exemplos relacionados à área farmacêutica. Após a leitura da unidade de ensino os estudantes demonstraram ter assimilado outros exemplos de aplicação da estereoquímica.

5.4.8 Questionário de avaliação da unidade didática (por parte dos estudantes)

Os alunos responderam às questões assinalando uma dentre as seguintes alternativas:

CP → Concordo plenamente

C → Concordo

NO → Não tenho opinião ou estou indeciso

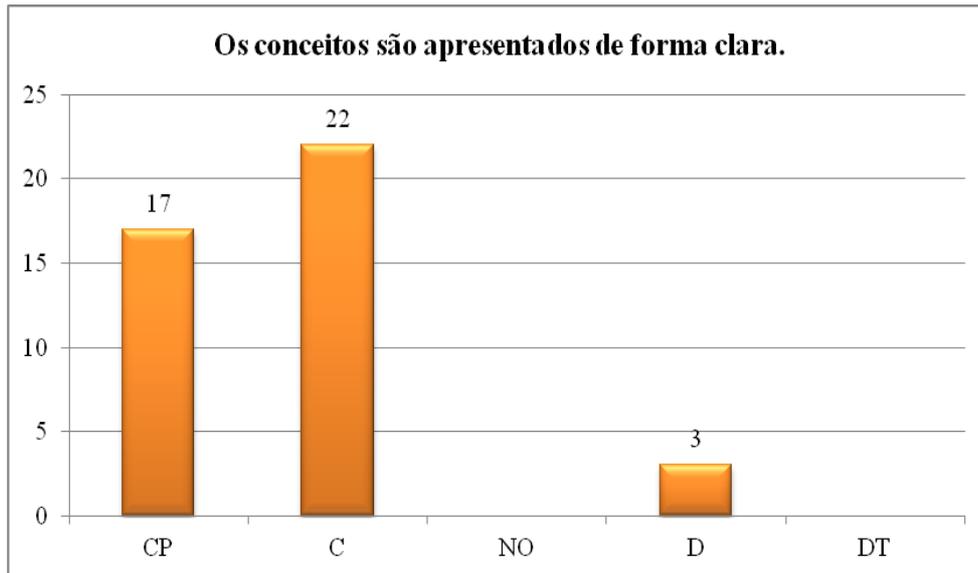
D → Discordo

DT → Discordo totalmente

A primeira questão buscou analisar se os conceitos apresentados na Unidade de Ensino foram apresentados de forma clara. A compreensão dos conceitos básicos torna-se fundamental uma vez que o domínio do campo da Estereoquímica depende da compreensão de uma série de conceitos. A interpretação errônea de um conceito básico, como pode ser observada na análise dos pré e pós-testes, resulta na incapacidade de resolver as situações. Nessa questão, 39 dos 43

alunos responderam positivamente à afirmação, e apenas três discordam (Gráfico 1).

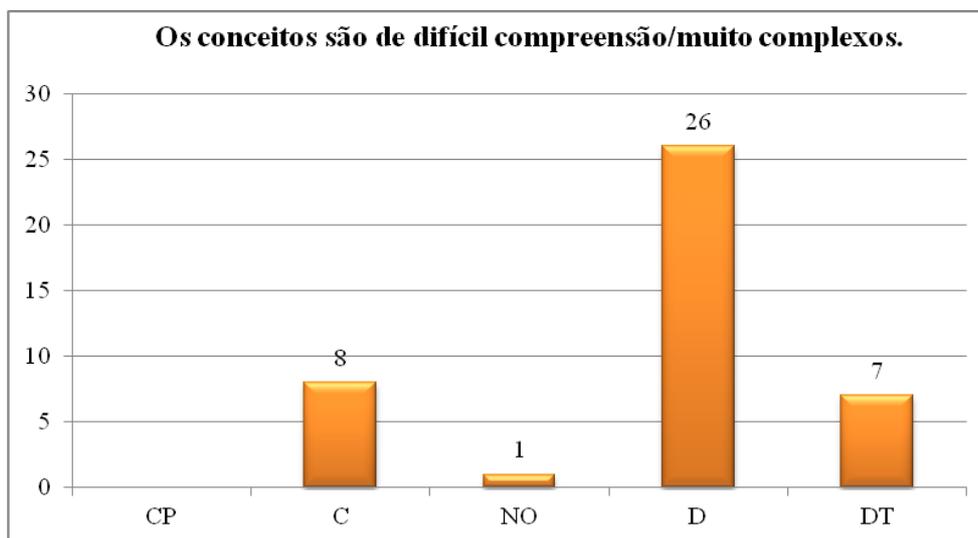
Gráfico 1 - Clareza dos conceitos.



Fonte: Autora (2014).

Quanto à complexidade dos conceitos (Gráfico 2), 33 alunos discordam dessa afirmação. Deve-se se levar em consideração que os conceitos já foram trabalhados anteriormente em sala de aula, portanto a unidade não traz nenhum novo conceito.

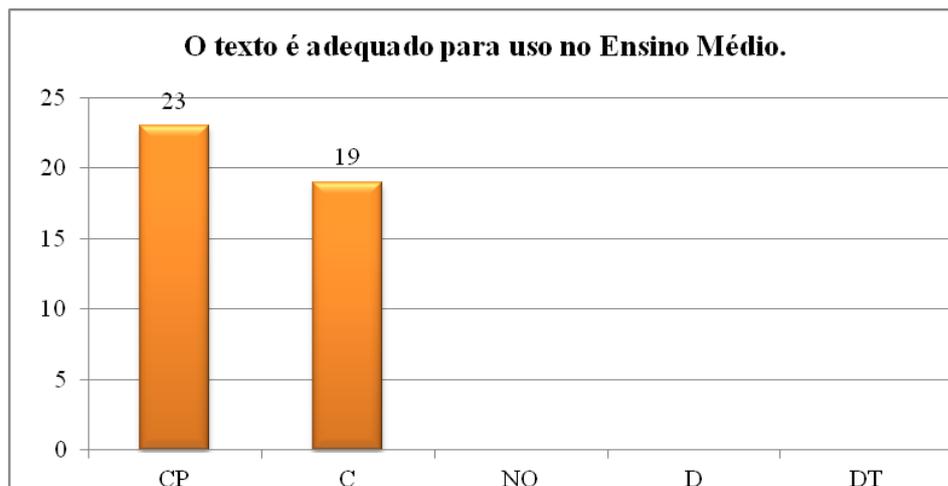
Gráfico 2 – Compreensão dos conceitos.



Fonte: Autora (2014).

Quanto a adequação do texto para o uso Ensino Médio (Gráfico 3) todos os alunos afirmam que o texto é adequado.

Gráfico 3 - Adequação do texto.



Fonte: Autora (2014).

Um total de 39 alunos concorda que o texto fornece uma visão da evolução da estereoquímica como ciência (Gráfico 4). Esse é um ponto importante, pois o conhecimento sobre a história da ciência dá aos alunos a oportunidade de ver como o conhecimento científico é provisório, assim eles estarão menos inclinados a ver a ciência como um livro de receitas e mais capazes de refletir sobre a complexidade e emoção de trabalho científico (LIND,1980; GRIESEMER ,1985).

Gráfico 4 - Evolução da Estereoquímica.



Fonte: Autora (2014).

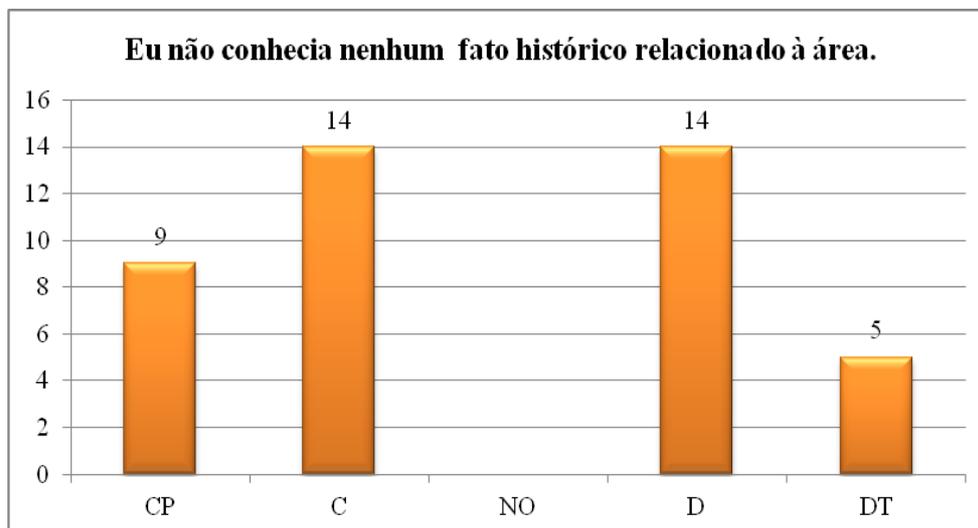
Com a questão seguinte (Gráfico 5) buscou-se analisar se essa parte histórica havia despertado o interesse dos alunos. 27 estudantes discordam do fato de não ter despertado o interesse.

Gráfico 5 – Interesse pela história.



Fonte: Autora (2014).

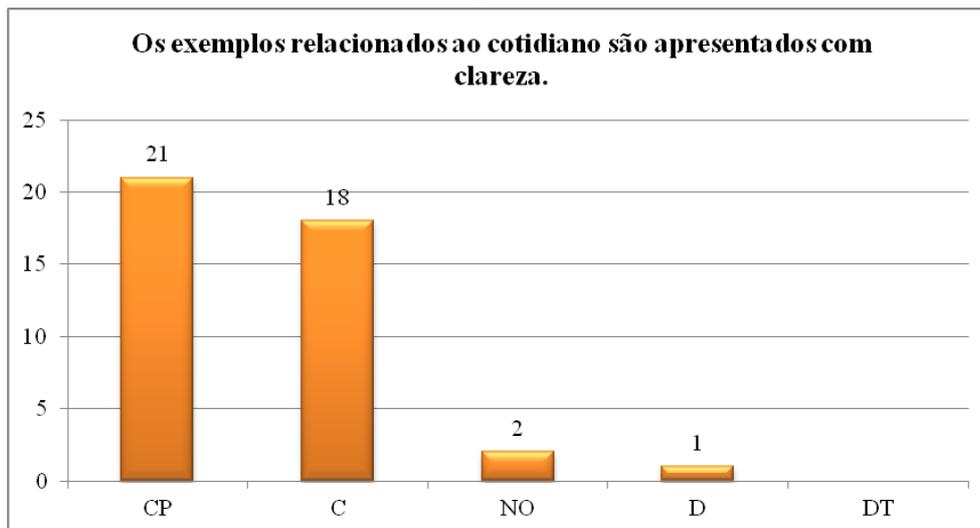
A história da Química, como comentada anteriormente, muitas vezes é abolida da sala de aula, ou apresentada de forma pontual e desconexa. Na Unidade de Ensino, buscou-se apresentar uma breve história da Estereoquímica de uma forma linear e homogênea para que os estudantes percebessem como a evolução foi ocorrendo de forma integrada ao longo dos anos, apresentando cada um dos principais cientistas, destacando sua contribuição individual, mas também sua participação em grupos de cientistas. Quando requisitados a reponder sobre o conhecimento histórica da área, 19 estudantes discordam da afirmação (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Conhecimento histórico.

Fonte: Autora (2014).

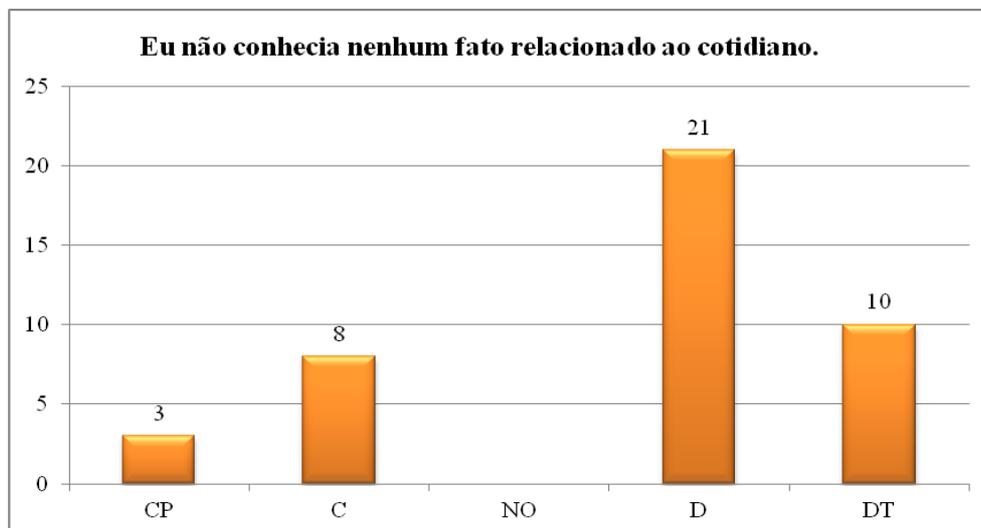
Cruzando os dados dessa questão, com os dados do pré-teste (Tabela 7) percebe-se que 79,6% afirmam não ter conhecimento histórico, porém os estudantes que afirmam conhecer algum fato histórico, esse fato se restringe ao episódio da talidomida. Essa questão de um único exemplo aparecer tão repetidamente na fala dos estudantes pode ser relacionado com o fato deste episódio ser o que comumente está presente nos livros didáticos, o que vem de encontro com a afirmação de Leite (1986) de que os professores dependem fortemente de livros didáticos para selecionar o conteúdo histórico uma vez que existe a falta de educação formal sobre a história da ciência.

No quesito clareza dos exemplos relacionados ao cotidiano (Gráfico 7), presentes na Unidade de Ensino, 39 alunos concordam com a afirmação.

Gráfico 7- Clareza dos exemplos do cotidiano.

Fonte: Autora (2014).

Quanto à afirmação *Eu não conhecia nenhum fato relacionado ao cotidiano* (Gráfico 8), 31 discordam, uma vez que questionados sobre o conhecimento das aplicações antes da leitura da unidade no pré-teste, 63,24% afirmaram conhecer fatos relacionados, porém, esses limitavam-se a fatos estavam relacionados apenas aos fármacos em geral e mais especificamente ao caso da talidomida. Esse exemplo demonstra que o conhecimento químico apresenta-se desvinculado do contexto social, quando deveriam estar interrelacionados (SANTOS, SCHNETZLER,1997).

Gráfico 8 – Conhecimento sobre relação com o cotidiano.

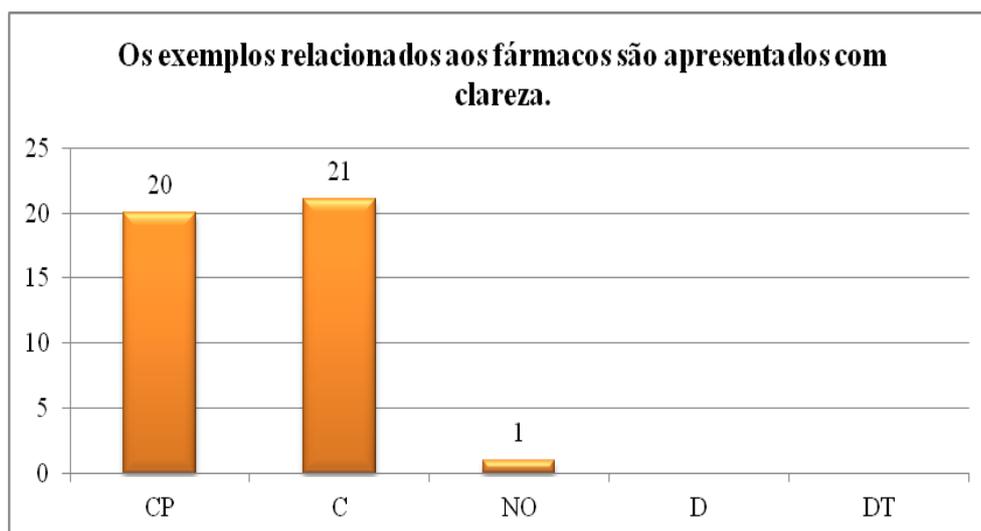
Fonte: Autora (2014).

Sobre o fato de não ter interesse sobre assuntos relacionados ao cotidiano (Gráfico 9) 38 estudantes negaram a afirmativa. Apesar de haver uma lacuna na relação química e realidade do aluno, em geral provocado por um profundo detalhamento conceitual sem grande preocupação (CARDOSO, COLINVAUX, 2000) os alunos demonstram interesse em aprofundar seus conhecimentos. De acordo com Vygostky (1998a), o desenvolvimento cognitivo não pode ser compreendido sem referência ao contexto histórico e cultural, e sua ausência resultaria em um funcionamento intelectual limitado, a compreensão dos aspectos históricos e contextuais do campo da estereoquímica é fundamental para a mediação da aprendizagem, portanto. Essa concepção está em consonância com a TCC de Vergnaud (2007) que afirma que um conceito só se torna significativo para o indivíduo se o mesmo consegue atribuir um sentido ao mesmo, e ainda que a atribuição desse sentido esteja relacionada com seus esquemas.

Gráfico 9 - Interesse sobre assuntos relacionados ao cotidiano.

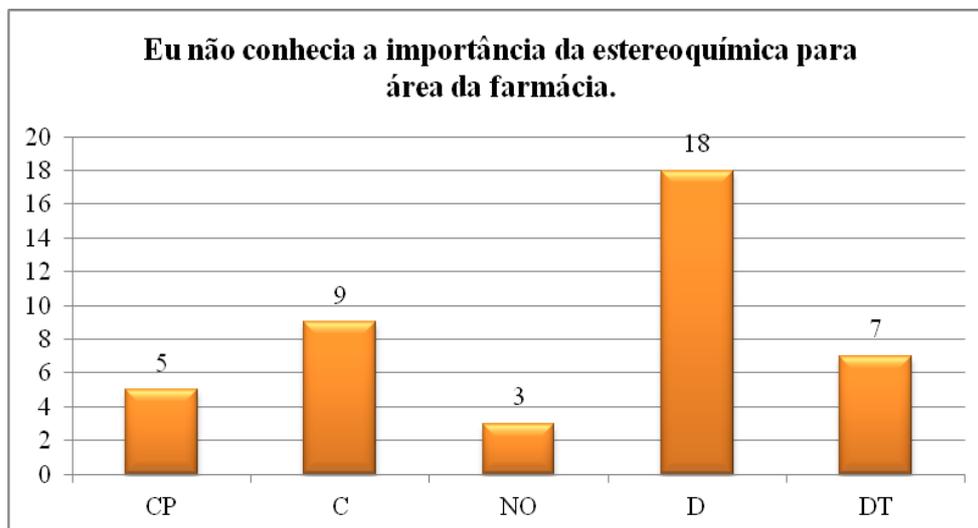
Fonte: Autora (2014).

No quesito clareza dos exemplos relacionados aos fármacos (Gráfico 10), 41 alunos concordam com a afirmação de que os exemplos da Unidade de Ensino são apresentados de forma clara.

Gráfico 10- clareza dos exemplos relacionados aos fármacos.

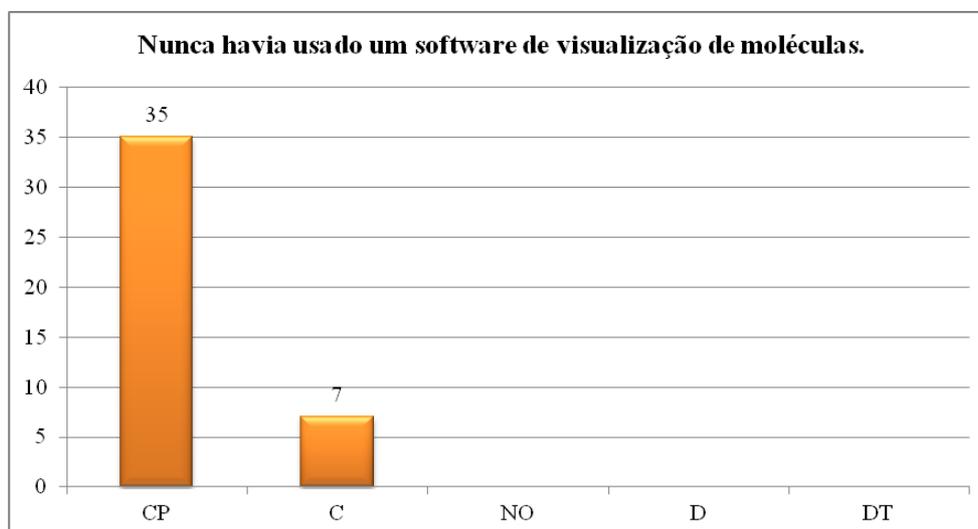
Fonte: Autora (2014).

Sobre a importância da estereoquímica para área da farmácia, 25 alunos discordam da afirmativa de não conhecer a importância para área (Gráfico 11). A estereoquímica é assunto de destaque na área farmacêutica, uma vez que é de fundamental importância para o entendimento dos mecanismos de ação de uma grande maioria dos fármacos (SIMONETTI, 2011).

Gráfico 11 – Estereoquímica e farmácia.

Fonte: Autora (2014).

Sobre o uso de software para visualização molecular todos os estudantes concordam com a afirmação de nunca terem utilizado nenhum tipo de software (Gráfico 12). Apesar das ferramentas de visualização ser consideradas inestimáveis para o processo de aprendizagem, principalmente para os princípios que são particularmente difíceis de visualizar ou conceituar, como estereoquímica (KURBANOGU; TASKESENLIGIL; SOZBILIR, 2006), percebe-se que existem algumas dificuldades na utilização desses recursos em sala de aula. Obstáculos como a falta de tempo, de recursos físicos e humanos na escola, e até mesmo do interesse dos professores em utilizar esse tipo de tecnologia para ensinar são geralmente os motivos relatados por professores para justificar o não uso das ferramentas computacionais. (SANTOS, OSTERMANN, 2005).

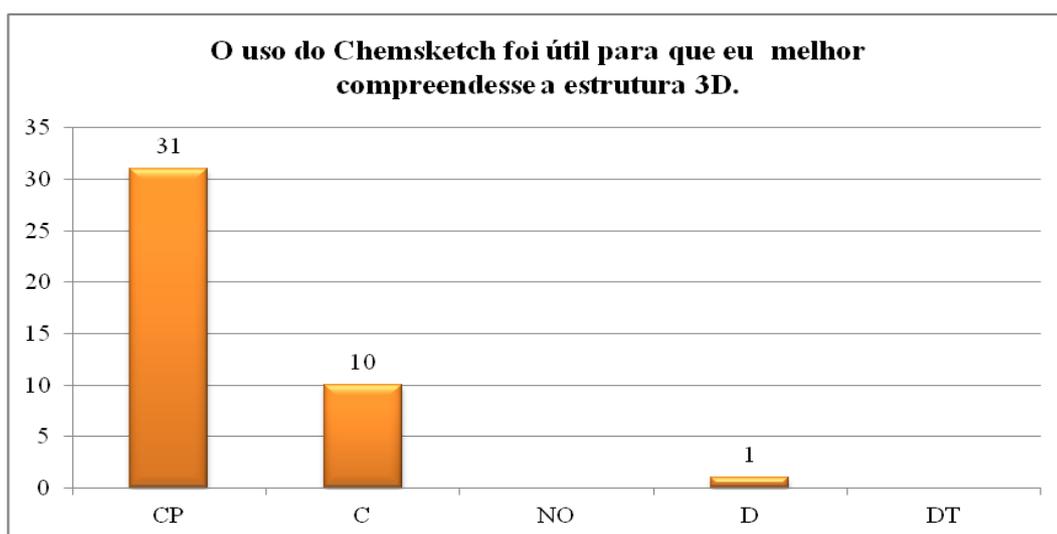
Gráfico 12 – Utilização de software de visualização.

Fonte: Autora (2014).

Um total de 41 alunos concordam com a afirmação (Gráfico 13): o uso do Chems sketch foi útil para que melhor compreender a estrutura 3D. De fato, o uso de representações 3D é de grande utilidade para área, pois permite a percepção de detalhes sutis que sem elas não seria possível compreender (HABRAKEN, 2004), já que uma abordagem do tema baseado apenas em representações bidimensionais utilizadas no quadro negro, por exemplo, pode restringir a formação de imagens mentais tridimensionais (WU; SHAH, 2004).

Cabe ressaltar que os modelos utilizados podem variar desde o uso de kits moleculares, a construção de moléculas com materiais como palitos e bolas de isopor, até modelos construídos computacionalmente. O importante é tornar as estruturas mais acessíveis para a compreensão dos estudantes, uma vez que, para a compreensão das estruturas 3D, o uso de modelos desempenha um papel tido fundamental. (GILBERT, 2005). O processo de internalização desse sistema simbólico irá contribuir pra a reconstrução interna de uma operação externa (VYGOTSKY, 1998a) em outras palavras a visualização dessas representações externas contribuem para o desenvolvimento dos esquemas (invariantes operatórios) necessários para a manipulação mental por meio de visualização interna das estruturas. Assim, a representação 3D auxilia o estudante a resolver problemas que seriam mais difíceis de serem resolvidos sem o uso da mesma (VERGNAUD, 1982).

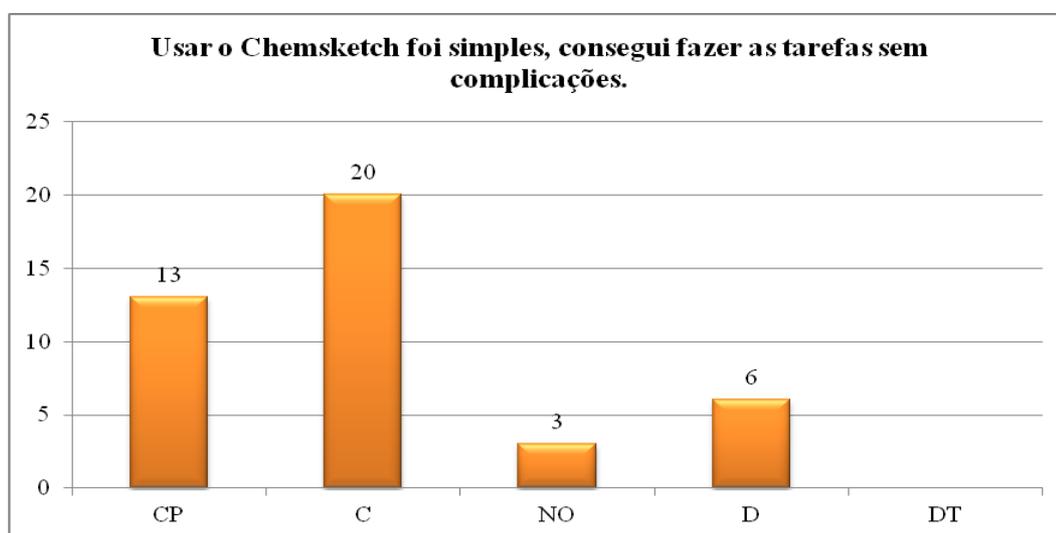
Gráfico 13 – Utilidade do uso do software.



Fonte: Autora (2014).

O ChemsSketch foi escolhido dentre outras ferramentas computacionais disponíveis para download livremente por ter uma interface fácil de utilizar, além de um completo manual em português. Após a utilização, 33 estudantes afirmam terem realizado as tarefas sem complicações. A facilidade na utilização do software é um ponto importante, pois o mesmo é o instrumento utilizado para realizar externamente uma tarefa que modela o pensamento durante o desenvolvimento cognitivo do aluno (VYGOSTKY, 1998a). Quanto mais simples sua utilização, mais o estudante pode focar na visualização das estruturas que é o objetivo principal do uso desses tipos de instrumento.

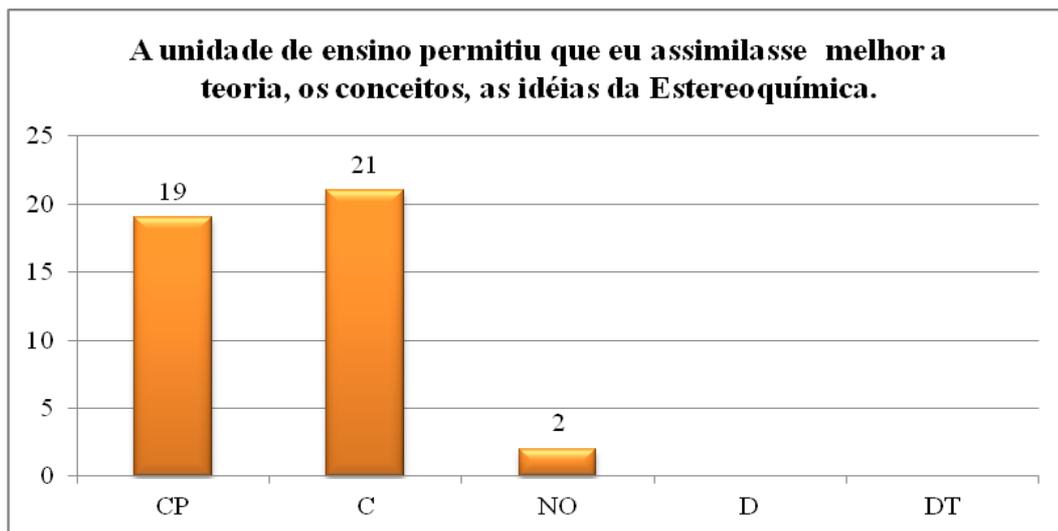
Gráfico 14 – Facilidade para utilização do software.



Fonte: Autora (2014).

A forma como o conteúdo foi apresentada na unidade de ensino, contemplando os aspectos históricos e contextuais permitiu uma melhor compreensão da teoria de acordo com 40 estudantes (Gráfico 15). Isso porque se buscou utilizar uma abordagem histórica e contextual que proporcionasse o uso dos esquemas dos estudantes na construção de sua rede de conceitos procurando situações que aproximassem o conteúdo da realidade para que o mesmo “fizesse sentido” aos estudantes. Dessa maneira, espera-se que a compreensão do campo conceitual ocorra em seu significado mais amplo: um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição. (VERGNAUD, 1982).

Gráfico 15 – Assimilação de conceitos.



Fonte: Autora (2014).

Quanto à importância da área para os químicos (Gráfico 16), 41 estudantes concordam com afirmação.

Gráfico 16 – Importância do campo para os químicos.



Fonte: Autora (2014).

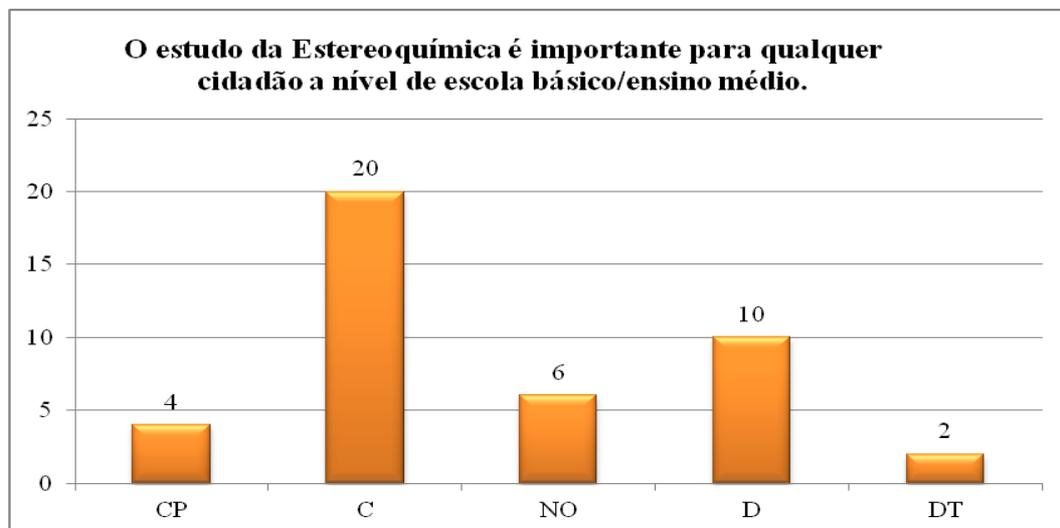
Quanto à importância da área para os profissionais da saúde (Gráfico 17), 39 estudantes concordam com afirmação. Consoante com a análise dos livros didáticos que apresentam exemplos relacionados à área, ou até mesmo quadros de destaque sobre exemplos de fármacos, esperava-se que os alunos concordassem com essa afirmativa.

Gráfico 17- Importância do campo para profissionais da saúde.



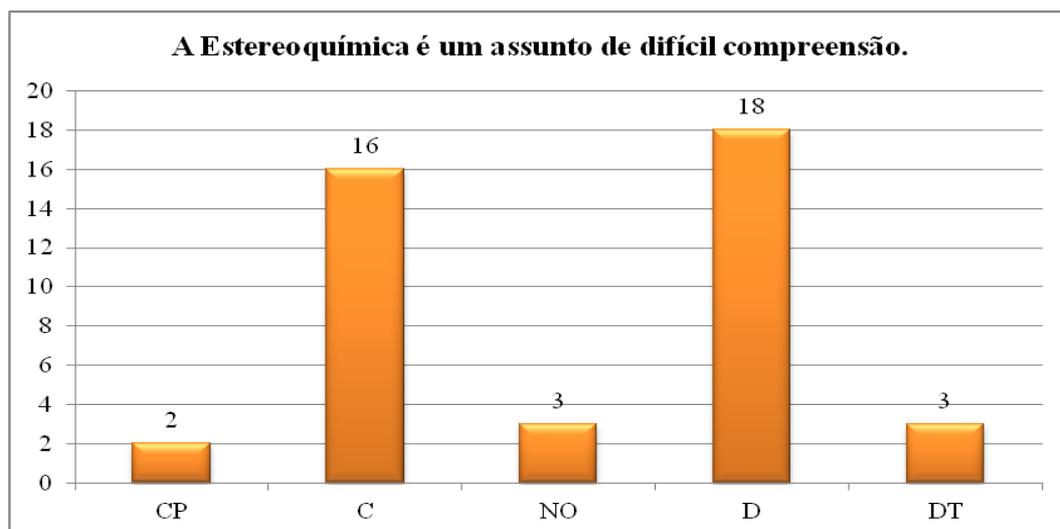
Fonte: Autora (2014).

Essa sequência de questões sobre a importância da Química revela um fato curioso: os estudantes concordam que o estudo do campo é importante para os químicos, para os profissionais da saúde e para os estudantes. Porém, um número menor - de 24 estudantes - concorda que o estudo da estereoquímica é importante para qualquer cidadão (Gráfico 18). Mesmo sendo um número menor, é considerado significativo. Esse dado transmite a ideia de que o conhecimento químico deve ser restrito e revela que não há clareza para esses estudantes sobre a importância do cidadão “entender a ciência e a tecnologia, com suas implicações e consequências, para poder ser elemento participante nas decisões de ordem política e social que influenciarão o seu futuro e o dos seus filhos” (BAZZO, 1998, P. 34).

Gráfico 18 - Importância do campo para o cidadão.

Fonte: Autora (2014)

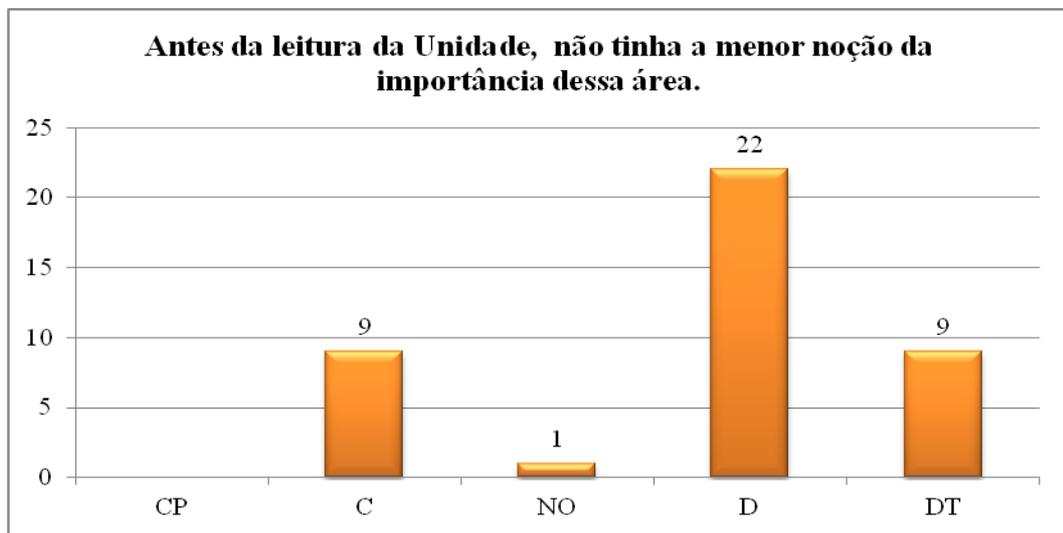
Sobre a dificuldade de compreensão do tema, 50% dos estudantes discordam da afirmativa que a estereoquímica é um assunto de difícil compreensão (Gráfico 19).

Gráfico 19 – Dificuldade de compreensão.

Fonte: Autora (2014).

Quanto à noção de importância da área (Gráfico 20), apenas 9 estudantes concordam que antes da leitura da unidade não tinham a menor noção da importância. A maioria afirma saber so assunto (31 estudantes), embora tenha sido diagnosticado no pré-teste que o conhecimento da aplicação prática dessa área seja resumido a poucos exemplos.

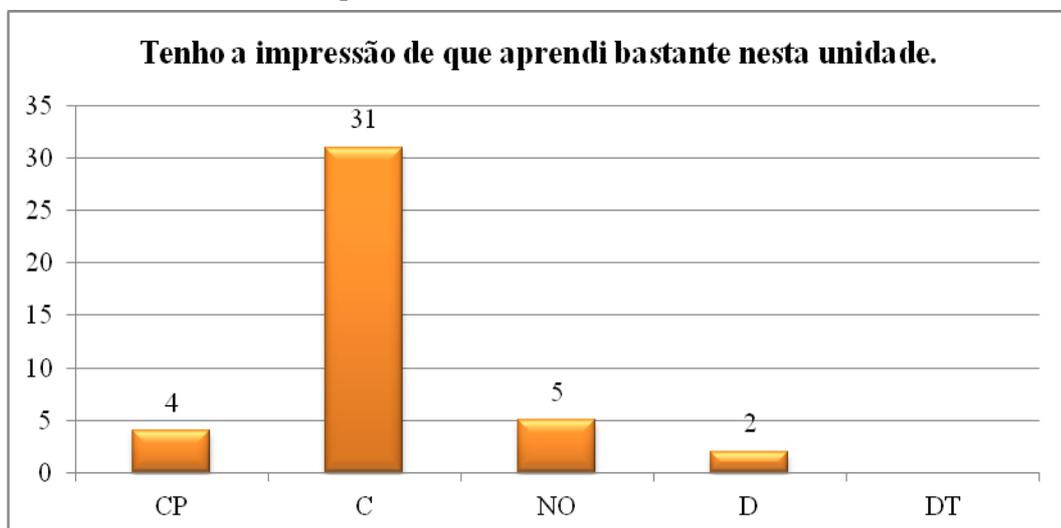
Gráfico 20 - Conhecimento sobre a importância da área.



Fonte: Autora (2014).

Mais uma vez percebe-se que um conceito se torna significativo para um sujeito através de uma variedade de situações (VERGNAUD, 1994), assim após terem acesso há uma quantidade de informações históricas e contextuais, 35 estudantes concordam que aprenderam mais sobre o tema após a leitura da unidade (Gráfico 21).

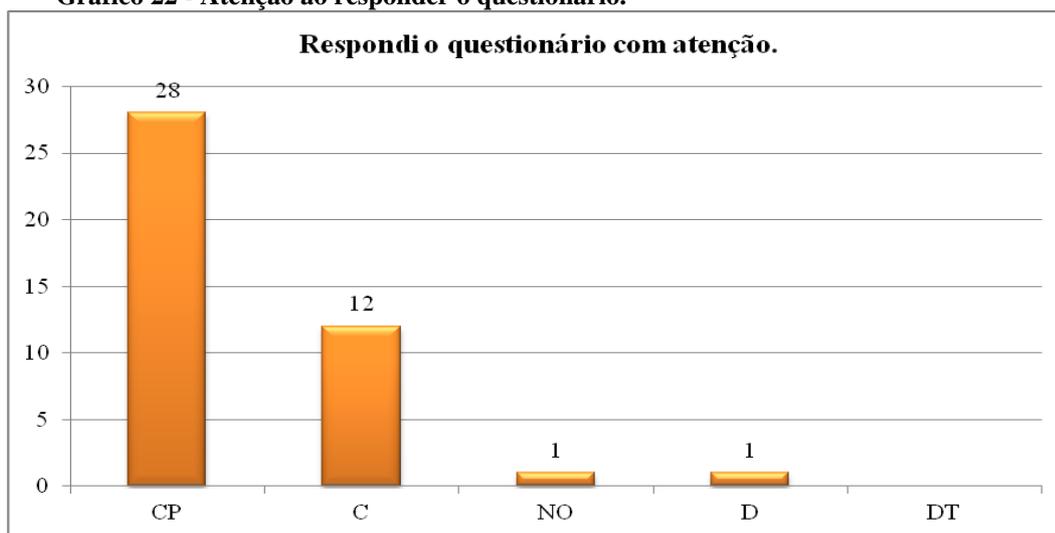
Gráfico 21 – Aprendizado com a Unidade de Ensino.



Fonte: Autora (2014).

Finalmente, a última questão estava relacionada com o nível de atenção ao responder o instrumento de pesquisa (Gráfico 22) , como resultado 40 estudantes concordaram afirmando terem respondido com atenção.

Gráfico 22 - Atenção ao responder o questionário.



Fonte: Autora (2014).

A análise do questionário, comparada com os resultados do pré e pós-testes, revelam que os conhecimentos históricos e contextuais estavam limitados a poucos exemplos quando os estudantes eram capazes de reconhecer fatos relacionados a esses campos. Nessa etapa, as questões foram direcionadas para que o estudante buscasse responder questões específicas de cada um dos aspectos da tríade de alfabetização proposta. No Experimento 1, realizado com alunos de Ensino Superior, a abordagem utilizada foi diferente, não havia nenhuma questão específica e os estudantes podiam comentar livremente sobre o tema, como resultado nenhum aspecto histórico e contextual foi citado.

Esses resultados com os estudantes reforçam as ideias presentes na revisão da literatura de que o ensino de química é centrado na resolução de cálculos, aplicação de fórmulas, ênfase em nomenclatura e não privilegia os demais aspectos necessários para a motivação do estudante para aprendizagem e para o domínio desse campo conceitual.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para responder a pergunta-chave “como tornar mais eficiente o ensino e a aprendizagem da estereoquímica com foco no Ensino Médio?” dividimos a investigação em 4 etapas distintas. Em nossas considerações finais é possível resumir a trajetória que levou a resposta da pergunta de pesquisa como uma história investigativa.

Nosso primeiro objetivo específico de investigação era: *Investigar o nível de compreensão geral do campo conceitual da estereoquímica de estudantes de Ensino Superior, com foco na capacidade de resolução de problemas que envolvam as habilidades visuoespaciais antes e depois da utilização de um software de visualização molecular.* Podemos afirmar como que os sujeitos investigados possuem uma compreensão limitada aos conceitos básicos do campo, com foco principal em nomenclatura, fórmulas e modelos de representação, uma vez que durante todo o processo os mesmos não mencionam nenhum outro aspecto relacionado ao campo. Sobre a resolução de problemas tridimensionais é possível afirmar que a utilização da ferramenta computacional possibilitou a visualização de estruturas, que segundo a TCC são mais poderosas (VERGNAUD, 1982) e promoveram uma melhor alfabetização tridimensional, contudo, sem associar este ganho de competências com aspectos históricos e contextuais que são importantes para o aprendizado de conceitos científicos. De fato, os estudantes, ao interagirem com as representações externas tridimensionais de compostos químicos apresentadas nos ambientes virtuais, internalizam essas representações sob a forma de imagens mentais estáticas e dinâmicas, associadas a invariantes operatórios específicos que auxiliam em ganhos expressivos de competências relacionadas à alfabetização tridimensional. Assim torna-se claro que uma estratégia eficiente de ensino para a estereoquímica, deve envolver o uso de um suporte tridimensional como visualização externa, para que os estudantes possam internalizá-la, desenvolvendo suas habilidades visuoespaciais e resolvendo assim outras situações no mesmo campo.

Como os estudantes, nessa etapa afirmaram utilizar livros didáticos no seu estudo, então debruçamo-nos na tarefa de atingir nosso segundo objetivo específico: *Analisar livros didáticos de Ensino Médio e Superior quanto à abordagem do tema.* A forma de apresentação do conteúdo histórico e contextual nos livros de Ensino Médio analisados parece-nos insatisfatória, uma vez que, de acordo com as teorias que sustentam esse trabalho, a compreensão dos conceitos deve ocorrer em uma perspectiva sócio-histórica de modo que os estudantes possam atribuir sentido ao campo de estudo, percebendo a evolução da área e sua

importância no cotidiano (VYGOTSKY, 1993; VERGNAUD, 1982). Se a história ou até mesmo os exemplos relacionados ao cotidiano são tratados como uma mera informação adicional ou uma “curiosidade”, os estudantes podem estar recebendo a mensagem que nomes e fórmulas são o foco de estudo e que a compreensão dos demais aspectos é desnecessária ou irrelevante. Ainda mais quando consideramos o fato que estudantes podem não compreender fenômenos que não são relacionados ao seu cotidiano e isso seria um fator motivacional importante para o aprendizado (BERNARDELLI, 2014; GABEL, 1993). Este quadro aparentemente muda quando analisamos os livros de Ensino Superior. Como já apresentado, de maneira geral, os livros analisados apresentam informações históricas e relacionadas com o cotidiano. Alguns com destaque, outros como uma informação complementar. Os principais cientistas que fazem parte da construção desse campo também são citados, apenas um dos livros não apresenta informações biográficas dos cientistas citados ao longo do texto. A análise desses livros didáticos utilizados no Ensino Superior revela a preocupação dos autores em apresentar informações históricas e relacionadas com o cotidiano, mesmo que em diferentes níveis de aprofundamento e com abordagens distintas. Informações fazem desses livros didáticos valiosos recursos para um ensino de estereoquímica aos professores que buscam uma abordagem mais ampla do tema e não somente restrito a conceitos científicos, como classificação, estruturas, propriedades e nomenclatura. Assim sendo, como resultado de nossa análise, e findo este objetivo de pesquisa, caminhamos para a construção de uma estratégia de ensino, o que foi considerado por nós como oportuno para a construção de uma alfabetização tridimensional aliada aos aspectos históricos e contextuais do conteúdo de estereoquímica. Esse dois últimos aspectos estariam relacionados não apenas com o fator motivacional importante para o aprendizado, como também a abordagem cognitivista que defende que aprendemos o desenvolvimento cognitivo não pode ser entendido sem referência ao contexto no qual ocorre (VYGOTSKY, 1998a ; VERGNAUD, 1982).

Cumprindo com o terceiro objetivo específico: *Desenvolver uma unidade de ensino baseada em uma estratégia didática que favoreça aprendizagem do campo conceitual para o nível de ensino recomendado pela banca de qualificação*; uma unidade de ensino foi, então, confeccionada para o Ensino Médio, com o objetivo de ser uma material suplementar para o uso de professores no Ensino Médio, com uma estrutura que omtempla de forma clara e bem defina, os três aspectos sugeridos para a tríade de alfabetização. A unidade foi submetida à avaliação de um conjunto de professores e investigadores da área de química e educação química. Para cumprir com o quarto objetivo específico. De uma forma geral, o resultado desta

análise externa é que a unidade foi bem construída, com a observação que poderiam ter sido utilizados softwares de construção de modelos moleculares em tablets ou celulares, por serem ubíquos dentre a população jovem, além de outros detalhes para tornar o texto mais acessível ao Ensino Médio e que foram alterados para aplicação. Consideramos que o uso de modelos moleculares em tablets e celulares é desejável, mas necessita de uma investigação sobre as contribuições cognitivas destas ferramentas, tal qual a autora fez com relação à ferramenta por nós sugerida, além do estudo da viabilidade de seu uso nas salas de aula.

Finalmente para nosso quinto objetivo específico: *Investigar a compreensão de estudantes de Ensino Médio Técnico sobre o campo conceitual da estereoquímica para diagnosticar o nível de compreensão conceitual, histórica e contextual e verificar o aprimoramento dessa compreensão após uso da unidade de ensino*, um segundo experimento foi realizado com estudantes de Ensino Médio Técnico. Quanto aos aspectos conceituais, os resultados do pré-testes revelaram deficiência no domínio de conceitos básicos como o entendimento da quiralidade, conceito de carbono assimétrico, cálculo do número de enantiômeros e visualização molecular. Após a leitura da unidade de ensino, somente nesse último quesito, não foi percebido em ganho em relação ao pós-teste, o que de certa forma já era esperado, visto que os estudantes tiveram contato com o software apenas em uma aula, já que o estudo dessa habilidade não era o foco desse experimento. Sobre a compreensão dos aspectos históricos e contextuais do campo, os estudantes demonstraram pouco conhecimento sobre o assunto no pré-teste, para ambos os aspectos foram citados basicamente o “famoso caso da Talidomida”. Após o uso da unidade os alunos apresentaram um repertório bem mais variado de exemplos, sendo capazes de identificar episódios da história e exemplos variados de aplicações ao cotidiano. Fato que pode também ser observado ao analisar o questionário aplicado. Torna-se evidente que a questão das situações relacionadas com o cotidiano e com a história da estereoquímica contribuiu para uma melhor compreensão do campo conceitual.

A unidade de ensino será disponibilizada na página da Área de Educação Química do Instituto de Química da UFRGS, para livre download. Como sugestão para estudos futuros, pode-se pensar na revisão e aprofundamento da unidade de ensino em parceria com professores da área de Química Orgânica para a publicação de um livro.

Ao concluir esse trabalho podemos afirmar a resposta a nossa questão é o uso de uma estratégia baseada na tríade alfabetização tridimensional, histórica e contextual pode tornar

mais eficiente o ensino e a aprendizagem da estereoquímica. Isso por que a estratégia contempla o aprendizado dos conceitos de forma mais abrangente, focando na já discutida dificuldade de visualização, que para ser superada necessita claramente do uso de um suporte de visualização externa adequado; mas promovendo também a compreensão aspectos históricos e contextuais como forma de trazer um significado ao estudante. Ao atribuir um sentido ao conceito abordado em sala de aula, de acordo com nosso aporte teórico, o estudante estaria mais motivado para a aprendizagem o que contribuiria para o seu desenvolvimento cognitivo.

Esse é o diferencial da estratégia quando analisamos algumas pesquisas já realizadas e discutidas ao longo do texto que focam apenas na questão da resolução de problemas tridimensionais. Os resultados nos levam a crer que a alfabetização tridimensional é fundamental, mas não é suficiente para promover o domínio do campo conceitual.

Um encaminhamento alternativo dessa investigação, de acordo com o diagnóstico de cada professor, é o uso em separado do software de construção de modelos moleculares (onde predomina uma interação hipercultural) do uso da unidade didática em si (onde predomina uma interação cultural); a primeira com foco no desenvolvimento da alfabetização tridimensional e com uma metodologia didática cognitivista e a segunda com foco em uma enculturação dos estudantes nos aspectos sócio-históricos-culturais que são tão fundamentais ao estudo da estereoquímica, e porque não dizer, da Química como ciência.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIBALI, M. W. Gesture in spatial cognition: Expressing, communicating, and thinking about spatial information. **Spatial Cognition and Computation**, v.5, p.307-331, 2005.

ALMEIDA, R. R. ; ALBUQUERQUE, M. S. ; SOUZA, P. C. ; MARCELINO JUNIOR, C. A. C. ; CAMPOS, F. C. **A abordagem da isomeria em provas de vestibulares e do enem**. IX Jornada de ensino, pesquisa e extensão (IX JEPEX) UFRPE, Recife, 2009

AMORIM, H. L. N.. Química Medicinal: dos genes aos fármacos. **Química Hoje**, v. 13, p. 9-11, 2008.

ANDREU M. P; RECENA, M. C. P. **Influência de um objeto de aprendizagem nas concepções de estudantes do Ensino Médio sobre ebulição da água**. Revista Novas Tecnologias na Educação, Porto Alegre, v. 5, p. 1-5, 2007. Disponível em: <<http://www.cinted.ufrgs.br/renote/dez2007/artigos/4jMaxwell.pdf>>. Acesso em 12 de abril 2009.

AUSUBEL, D.P. **The acquisition and retention of knowledge**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. (2000).

BAKER, R. W.; GEORGE, A.V. E HARDING, M. M. **Journal of Chemical Education**, 1998. p. 757, 853.

BALABAN, A. T. Visual Chemistry: Three-Dimensional Perception of Chemical Structures. Amsterdam, **Journal of Science Education and Technology**, v. 8, n.4, p. 251-255, 1999.

BARBOSA, L.C.A. **Introdução à Química Orgânica**, 2.ed, Pearson Prentice Hall, Ed. São Paulo, 2011, 311p.

BARNEA, Nitza. Teaching and learning about chemistry and modelling with a computer managed modelling system. In: **Developing models in science education**. Springer Netherlands, 2000. p. 307-323.

BARTA, N. S., STILLE, J. R. Grasping the Concepts of Stereochemistry, J. **Journal of Chemical Education**, v.71, n.1, p.20–23, 1994.

BATEMAN. R.C.. Structure visualization in biochemistry education. **Journal of the Mississippi Academy of Sciences**, n. 47, p.149-152, 2002.

BAZZO, W. A. **Ciência, Tecnologia e Sociedade: e o contexto da educação tecnológica**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.

BEAUCHAMP, P. S. " Absolutely" Simple Stereochemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 61, n. 8, p. 666-67, 1984.

BERNARDELLI, M.S. **Encantar para ensinar** – um procedimento alternativo para o ensino de química. In: Convenção Brasil-Latino-América de Ensino. Congresso Brasileiro e Encontro Paranaense de Psicoterapias Corporais. Foz do Iguaçu. Anais. Centro Reichiano. 2004.

BERZELIUS, J.J. **Experiments to determine the definite proportions in which the elements of organic nature are combined**. Annals of Philosophy, v. 4, n. 323–331, p. 401-409, 1814

BEYER, H.O. O Fazer Psicopedagógico. A abordagem de Reuven Feuerstein a partir de Piaget e Vygotsky. **Porto Alegre: Mediação**, 1996.

BRASIL, Governo Provisório da República dos Estados Unidos do Brasil. **Decreto nº 19.890, de 18 de abril de 1931**. Rio de Janeiro, 18 de abril de 1931. Disponível em: <http://www.histedbr.fae.unicamp.br/navegando/fontes_escritas/5_Gov_Vargas/decreto%2019.890-%201931%20reform>.

_____. Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília, 1999.

_____. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química**. Parecer Nº CNE/CES 1.303/2001, 2001

BRUICE, P. Y. **Química Orgânica**. 4 ed, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2006, 704p.

BRUSH, Stephen G. Thomas Kuhn as a historian of science. **Science e Education**, v. 9, n. 1-2, p. 39-58, 2000.

CAMPELLO DE SOUZA, B. (2004). **A Teoria da Mediação Cognitiva: Os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital**. Tese (Doutorado Em Psicologia Cognitiva). Departamento de Psicologia Cognitiva, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

CARDOSO, P.S.; COLINVAUX, D. Explorando a motivação para estudar química. **Química Nova**, v.23, n.3, p. 401-404, 2000.

CARVALHO JR, G. D.; AGUIAR JR, O. G. **Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 2, p. 207-227, Agosto 2008.

CHITTLEBOROUGH, G.; TREAGUST, D. F. **Modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level**. Ionina, Chemistry education research and practice, v. 8, n. 3, 2007. Disponível em: < <http://www.uoi.gr/cerp>>.

CHOI, J. **Sex Differences in Spatial Abilities in Humans: Two Levels of Explanation**. In: VOKEY, J. R.; ALLEN, S. W. (Eds.) Psychological Sketches. 5.ed. Department of Psychology and Neuroscience, Lethbridge: University of Lethbridge, 2001.

CLEMENT, J. **Creative Model Construction in Scientists and Students: The Role of Imagery, Analogy, and Mental Simulation**. Dordrecht: Springer, 2008.

_____. **Thought experiments and imagery in expert protocols**. In L. Magnani, ed., Model-based reasoning in science and engineering, London: King's College, p.1-16, 2006.

COOK, M.P. **Visual representations in science education: the influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles**. Science Education.v. 90, n.6, p.1073–1091, 2006.

CORREIA, P.R. M.; DONNER JR., JOHN, W. A.; INFANTE-MALACHIAS, M.E. Mapeamento conceitual como estratégia para romper fronteiras disciplinares:Avaliando a importância da isomeria dos compostos orgânicos nos sistemas biológicos. **Ciência e Educação** (Unesp. Impresso), v. 14, p. 483-495, 2008.

- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.18, n.3, p. 263-277, 2001.
- COTTON, D. GRETTY, K. **Reflecting on the think aloud method for evaluating e-learning. British Journal of Educational Technology**, v. 37 n.1 p. 45-54, 2006.
- COUTO, R.C. **Uma aplicação web para implementação do modelo ab de dobramento de proteínas**. Dissertação de mestrado, FURG, Rio Grande, 2013.
- COX, R. Representation construction, externalised cognition and individual differences. **Learning and Instruction**. v.9, p.343- 363, 1999.
- CROSLAND, M. P. **Historical Studies In The Language Of Chemistry**, Heinemann, London, 1962.
- DE OLIVEIRA GRINGS, E.T; MOREIRA, M.A; CABALLERO, C. Significados dos conceitos da termodinâmica e possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes do ensino médio e técnico. **Revista Liberato**, v. 8, n. 10, 2007.
- EVANS, G. G. Stereochemistry in the terminal course. **Journal of Chemical Education**, v.40, 1963.
- EVANS, K.L YARON,D., LEINHARDT, G. **Learning Stoichiometry: A Comparison of Text and Multimedia Formats**. Chemistry Education Research and Practice, v9, n3, p208-218, 2008.
- FERREIRA, N. M et al.. **Um Software para Visualização de Rotas Metabólicas para o Ensino de Bioquímica**. 16º Simpósio Internacional de Iniciação Científica, São Paulo, 2008.
- FEYEREISE, P.; HAVARD, I. **Mental imagery and production of hand gestures while speaking in younger and older adults**, J.Nonverbal Behav. v.23, n.2 153-171, 1999.
- FINKE, R.A. **Principles of mental imagery**. The MIT Press, 1989.,179.p
- FITA, E. C. O professor e a motivação dos alunos. In: TAPIA, J. A.; FITA, E. C. **A motivação em sala de aula: o que é, como se faz**. 4. ed. São Paulo: Loyola, 1999. p. 65-135.
- FRAGA, C.A. Razões da Atividade Biológica. **Química Nova na Escola**, n.3, 2001.
- FRANÇA, A. A; **A Contextualização no Ensino de Química: Visão dos Professores da Cidade de Sete Lagoas/MG**. Belo Horizonte, 2005. 35 p.
- FRANCHI, A. **Considerações sobre a teoria dos campos conceituais**. In: Educação matemática: uma introdução. São Paulo: Educ, p.155-195, 1999.
- FREDERIKSEN, J.R.; WHITE, B.Y.; GUTWILL, J.. Dynamic mental models in learning science: The importance of constructing derivational linkages among models. **Journal of research in science teaching**, v. 36, n. 7, p. 806-836, 1999.
- FREITAS, C. A. B.; BARRA, I. M. M.; TAVARES, L. Os medicamentos como contexto no ensino de Química Orgânica 50ª Reunião anual da Sociedade Brasileira de Química, **Anais**, 2010.

FREITAS, N. K. Representações mentais, imagens visuais e conhecimento no pensamento de Vygotsky. Rio de Janeiro, **Ciências e Cognição**. Ano 2, v. 6, 2005. Disponível em <<http://www.cienciasecognicao.org>>.

FROMM, F. On stereochemistry, **Journal of Chemical Education**. (Letter) v.1, p. 4322, 1945.

GABEL, D. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 4, p. 548-554, 1999.

GABEL, D.; SHERWOOD, R.D.; ENOCHS, L. Problem-Solving Skills of High School Chemistry Students. Hoboken (NJ), **Journal of Research in Science Teaching**, v. 21, n. 2, p. 221-233, 1984.

GABEL, D. Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. **Journal of Chemical Education**, v.70, n.3, p.193-194, 1993.

GARCÍA, M.M.T.; IZQUIERDO, A.M.; FIEDLER-FERRARA, J.N. e MATTOS, C. Un estudio sobre la evaluation de libros didácticos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 36-50, 2002.

GASTALDO, L. F. **Módulos didáticos hipermídicos para o ensino de eletromagnetismo e óptica no ensino médio**. XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luis: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

GATTI JÚNIOR, D. **A escrita escolar da história: livro didático e ensino no Brasil**. Bauru: Edusc; Uberlândia: Edufu, 2004, 250p.

GAWLEY, R.E. Chirality made simple: a 1- and 2-dimensional introduction to Stereochemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 82, n. 7, p.1009-1022, 2005.

GILBERT, J. K. and D. M. Watts. Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. **Studies in Science Education**, v.10, n1, p.61-98, 1983.

GILBERT, J. K. (ed.) **Visualization in Science Education**, Dordrecht: Springer, 2005, 346p.

GILBERT, J. K. The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. In: **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, p. 1-20, 2010

GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. F. **Multiple representations in chemical education**. Dordrecht: Springer, 2009, 390p.

GOODING, D. Creative rationality: Towards an abductive model of scientific change. **PHILOSOPHICA-GENT**, p. 73-102, 1996.

GOUVEIA-MATOS. J.A.M. Pasteur: ciência para ajudar a vida. **Química Nova na Escola** v.6, 1997.

HABRAKEN, C. Integrating into Chemistry Teaching Today's Student's Visuospatial Talents and Skills, and the Teaching of Today's Chemistry's Graphical Language. Amsterdam, **Journal of Science Education and Technology**, v. 13, n. 1, p.89-94, 2004.

_____. **Perceptions of chemistry: Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences so distorted?** Amsterdam, **Journal of Science Education and Technology**, v.5, n.3, p. 193-201, 1996.

HEGARTY, S. MAYER, S. KRIZ, KEEHNER, M. The role of gestures in mental animation, **Spatial Cognition and Computation**, v. 5, n. 4, p. 333-356, 2005.

HOLMYARD, E.J. **Alchemy**. Courier Corporation, 1990, 288p.

HOSTETTER, Autumn B.; ALIBALI, Martha W. On the tip of the mind: Gesture as a key to conceptualization. In: **Proceedings of the 26th annual meeting of the Cognitive Science Society**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2004. p. 589-594.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S.; FRANCO, F. M. M. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2004, 1986p.

HURD, P.D. Scientific Literacy: New Minds for a Changing World, **Science Education**, v. 82, n. 3, p.407-416, 1998.

IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology**, 2nd ed. (the "Gold Book"), 2014. Disponível em <<http://goldbook.iupac.org>>, Acessado em 23 de maio 2014.

IVERSON, J. M.; GOLDIN-MEADOW, S. **What's communication got to do with it?** Gesture in children blind from birth, **Developmental psychology**, v.33, n.3, p.453-467,1997.

_____.Why people gesture when they speak. **Nature**, v. 396, n. 6708, p. 228-228, 1998.

JOHNSTONE, A.H. Why Science difficult to learn? Things are seldom what they seem. Hoboken, **Journal Computer Assisted Learning**, v .7, n.2, p. 75-83, 1991.

JONES, L.; JORDAN, K.; STILLINGS,N. Molecular visualization in chemistry education: the role of multidisciplinary collaboration. Londres, **Chemistry Education Research and Practice**. v. 6, n. 3, p. 136-149, 2005.

KEIG, P. F.; RUBBA, P. A., Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, Gender, Spatial Reasoning, And Specific Prior Knowledge. **Journal of Research in Science Teaching**, v.30, n.8, p.893-903, 1993.

KEITH, S. Meeting Educational Objectives in the Affective and Cognitive Domains: Personal and Social Constructivist Perspectives on Enjoyment, Motivation and Learning. pp 3-27. IN: **Affective Dimensions in Chemistry Education 2015**, 318p.

KOZHEVNIKOV, M.; HEGARTY, M.; MAYER, R. E. Revising the visualizer-verbalizer **dimension**: Evidence for two types of visualizers.**Cognition and Instruction**, v. 20, n. 1, p. 47-77, 2002.

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

KOZMA, Robert B.; RUSSELL, Joel. **Multimedia and understanding**: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena.**Journal of research in science teaching**, v. 34, n. 9, p. 949-968, 1997.

KRAUSS, R. M. Why do we gesture when we speak? **Current Directions in Psychological Science**. v. 7, p.54, 1998.

KURBANOGLU, N. I.; TASKESENLIGIL, Y.; SOZBILIR, M., Programmed instruction revisited: a study on teaching stereochemistry, **Chemistry Education Research and Practice**, v.7, n.1, p.13-21, 2006.

LAGRECA, M. C.; MOREIRA, M.A.. Representações Mentais em alunos de Mecânica Clássica: três casos. **Investigações em Ensino de Ciências** (Online), Porto Alegre, v. 3, n.2, p.83-106, 1998.

LEHNINGER, A. L.; NELSON D. L. **Princípios de Bioquímica**. New York: Sarvier, 1995, 839 p.

LEITE, L. History of science in science education: development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. **Science e Education**, Dordrecht, v. 11, n.4, p.333-359, 2002.

LIMA, J.F.L.; PINA, M.S.L.; BARBOSA, R.M.N.; JÓFILI, Z.M.S. **Contextualização no ensino de Cinética Química**. Química Nova na Escola, n.11, p.26-29, 2000.

LIMA, V. L. E.. Os fármacos e a quiralidade: uma breve abordagem. **Química Nova**, v. 20, n. 6, p 657-663, 1997 .

LOCH, J. M. de P. Avaliação: uma perspectiva emancipatória. **Química Nova na Escola**, n.12,p.31-33, 2000.

LOGUERCIO, R.; DEL PINO, J. C. **Livros Didáticos**: Mais que uma simples escolha, uma decisão que pode orientar os trabalhos em sala de aula, 1995.

LOGUERCIO, R.Q; DEL PINO, J. C **Em defesa do filosofar e do historicizar conceitos científicos**. Revista História da Educação, n. 23, p. 67-96, 2007.

LOZANO S.; TVERSKY, B. Gestures convey semantic content for self and others. TwentySeventh Annual Conference of the Cognitive Science Society, Stresa, Italy, 2005. Accessed 04/03/2014. <http://www.psych.unito.it/csc/cogsci05/frame/talk/f707-lozano.pdf>

LUTFI, M. **Cotidiano e educação em química**: os aditivos em alimentos como proposta para o ensino de química no segundo grau. Ijuí: Unijuí, 1988.

MATHEWSON, J. H. **Visual-Spatial Thinking**: An Aspect of Science Overlooked by Educators. Hoboken (NJ), Science Education, v. 83, n.1, p33-54, 1998.

MCCLEAN, P.. et al.. Molecular and cellular biology animations: Development and impact on student learning. Cell Biology Education, v. 4, n. 2, p. 169-179, 2005.

MCMURRY, J. **Química Orgânica**. 6 Ed. v. 1, Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2005, 492p.

MCNEILL, D. **Hand and Mind**: What Gestures Reveal About Thought. University of Chicago Press, Chicago, IL, 1992, 423p.

MERRIAM, S. B., CAFFARELLA, R. S. Learning in Adulthood. A comprehensive guide, SanFrancisco: Jossey-Bass, 1991, 560p.

MILNER-BOLOTIN, M.; NASHON,S. The essence of student visual-spatial literacy and higher order thinking skills in undergraduate biology. **Protoplasma**, v. 249,n.1, p. 25-30. Academic Search Premier, EBSCOhost, 2012.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. Porto Alegre, *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n.1, p. 7-29, 2002.

MOREIRA, M.A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências. A teoria da Aprendizagem Significativa**. Porto Alegre - RS. 2009. Acesso em: 20 de março de 2011- Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/>>.

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

NAKHLEH, M. B. Why some students don't learn Chemistry. **Journal of Chemical Education**, v.69, n. 3, p. 191-196, 1992.

NÍAZ, M.: 'A Rational Reconstruction of the Kinetic Molecular Theory of Gases Based on History and Philosophy of Science and its Implications for Chemistry Textbooks', **Instructional Science** v. 28, n.1, p 23–50, 2000.

NOYCE, W. K. J Stereoisomerism of carbon compounds. **Journal of Chemical Education**., v. 38, p.23. 1961.

NÚÑEZ, Manuela et al. Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education. In: MAURI, J. L. et al. (Ed.). **WSEAS International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering**. WSEAS, 2008

OBRIST ,B. Visualization in Medieval Alchemy. Berlin, HYLE - **International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 9, n.2, p.131-170, 2003.

OLIVEIRA, I. M. . A constituição social e histórica das emoções: contribuições de Elias e Vigotski. In: IX Simpósio Internacional Processo Civilizador - Tecnologia e Civilização, 2005, Ponta Grossa. **Anais do IX Simpósio Internacional Processo Civilizador - Tecnologia e Civilização**., v. 1. p. 1-13, 2005.

OLIVEIRA, M. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento um processo sócio-histórico**. São Paulo: Scipione, 1993, 111 p.

OLIVEIRA,S.R.; GOUVEIA,V.P.; QUADROS;A.L. Uma reflexão sobre aprendizagem escolar. **Química Nova na Escola**, v. 31, n 1, p. 23-30, 2009.

PASSOS, M. **Letramento literário na escola: um estudo de práticas de leitura de literatura na formação da “comunidade de leitores”**. 2007. Tese (Doutorado em Educação), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PILLI, R. A. Catálise assimétrica e o prêmio Nobel de química de 2001. Novos paradigmas e aplicações práticas. *Quím. Nova na Escola*, v. 14, p. 16-24, 2001.

PAVLINIC, Slavica et al. Computing in Stereochemistry-2D or 3D Representations?. In: Research in **Science Education-Past, Present, and Future**. Springer Netherlands, p. 295-300, 2001.

PERKINS, K., ADAMS, W., DUBSON, M., FINKELSTEIN, N., REID, S., WIEMAN, C., LEMASTER, R. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. **The Physics Teacher**, v. 44, n. 1, p. 18-23, 2006.

- POZO, J. I. **Aprendizes e mestres: a nova cultura da aprendizagem.** Porto Alegre: Artmed, 2002, 296 p.
- QUADROS, A.L. A água como tema gerador do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 20, p. 26-3, 2004.
- RAMBERG, P. J. **Chemical structure, spatial arrangement: the early history of stereochemistry, 1874-1914**, pp. 87-109. Aldershot: Ashgate, 2003, 400 p.
- RAUPP, D. T., DEL PINO, J. C. Aprendizado de estereoquímica mediado por representações tridimensionais: uma perspectiva vygotskyana, I Congresso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática; Tandil, Argentina, **Anais**, 2011.
- RAUPP, D.; SERRANO, A.; MARTINS, T. L. C . **A evolução da Química Computacional e sua contribuição para educação em química.** Revista Liberato, p. 13 - 22, 30, 2008.
- RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M. A. A evolução histórica da linguagem representacional química: uma interpretação baseada na Teoria dos Campos Conceituais. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, **Anais**, 2009.
- RAUPP, D.T. **Um estudo de caso sobre a compreensão de conceitos químicos mediante visualização de representações computacionais 3D utilizando o referencial de Campos Conceituais.** Dissertação de mestrado, PPGECIM, ULBRA, 2010.
- RICHARDSON, D.C., RICHARDSON J.S., Teaching Molecular 3-D Literacy. **Biochemistry and Molecular Biology Education** v. 30, p. 21-26, 2002.
- RICHIT, A. Implicações da Teoria de Vygotsky aos Processos de Aprendizagem e Desenvolvimento em Ambientes Mediados pelo Computador. **Revista Perspectiva**, Erechim, RS, v.28, n.103, p.21-32, 2004.
- ROMERO, J. R. **Fundamentos de Estereoquímica dos Compostos Orgânicos.** Holos, Ribeirão Preto, 1998, 108 p.
- ROQUE, N. D.; SILVA, J. L. A Linguagem Química e o Ensino da Química Orgânica. São Paulo, **Química Nova**, v.. 31, n. 4, p. 921-923, 2008.
- ROSA, C.T. W. ; ROSA, A.B. O ensino de Ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. **Revista Iberoamericana de Educación** (Online), v. 52, p. 1-24, 2012.
- ROTH, W.M. From gesture to scientific language. **Journal of Pragmatics**, v. 32, n. 11, p. 1683-1714, 2000.
- SALATIEL, E. E VIENNOT, L. ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontaneo de los estudiantes? **Enseñanza de las Ciencias**, n.3, v.2, 137-144, 1985.
- SANTOS, F.R.V ; OSTERMANN, F. A prática do professor e a pesquisa em ensino de Física: novos elementos para repensar essa relação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 316-337, jan. 2005. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6374/5900>>. Acesso em: 26 Fev. 2015.

SANTOS, J.L, CHIN,C.M. Anemia falciforme: desafios e avanços na busca de novos fármacos. **Química Nova**, v.35, n.4, 2012.

SANTOS, W.L. e MORTIMER, E.F. A dimensão social do ensino de Química– Um estudo exploratório da visão de professores. *II Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências*. **Anais**. Valinhos, 1999.

SASSERON, L. H, CARVALHO, A.M.P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. In: **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, v.16, n.1, p. 59-77, 2011.

SCHNETZLER, R. P. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de química de 1875 a 1978. **Química Nova**, v. 4, n. 1, p. 6-15, 1981.

SCHÖNBORN, K.J., ANDERSON, T.R. The importance of visual literacy in the education of biochemists. **Biochemistry and Molecular Biology Education**,n.34, v.2, p. 94-102, 2006.

SEABRA, R.; SANTOS, E. Proposta de desenvolvimento da habilidade de visualização espacial através de sistemas estereoscópicos. 4º Congreso Nacional y 1ro. Internacional Rosario, Argentina, **Anais**, 2004.

SHINE, H.J. Aids in teaching stereochemistry: Plastic sheets for plane projection diagrams. **Journal of Chemical Education**, v. 34, n. 7, p. 355, 1957.

SILVA (UECE). **Dificuldades de aprendizagem no ensino de isomeria para alunos do ensino médio**. In: 47º Congresso Brasileiro de Química. Natal, 2007. Área: Ensino de Química. Anais eletrônicos. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/6/6-294-521.htm>>.

SILVA, R.M.G. Contextualizando aprendizagens em Química na formação escolar. **Química Nova na Escola**, n.18, p. 26-30, 2003.

SIMONETTI, M. A - In BAGATINI A, CARRARETO AR, VIANNA PTG - Curso de Educação A Distância Em Anestesiologia. SBA, Rio de Janeiro, **Anais**, 2007.

SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C.B. **Química Orgânica**, v.1,7 ed, LTC, Rio De Janeiro, 2001,492p.

STAINS ,M.; TALANQUER, V. **Classification of chemical reactions: Stages of expertise**. Hoboken(NJ), Journal of Research in Science Teaching. v.45, n.7, p. 771-793, 2007.

STAMATTO, Maria Inês Sucupira. Alfabetização histórica em materiais didáticos: significados e usos. In: Simpósio Nacional De História, 25., 2009, Fortaleza. **Anais do XXV Simpósio Nacional de História – História e Ética**. Fortaleza: ANPUH, 2009. CD-ROM.

STEPHENS, A. LYNN ;CLEMENT, JOHN J. **Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students**, **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**, v. 6, n. 2, p. 020122, 2010.

STIEFF, M.; BATEMAN, R. C.; UTTAL, D. H. **Teaching and learning with threedimensional representations**, In: T, J.K. (ed), Visualization in Science Education, Dordrecht: Springer 2005.

STOCKLMAYER, S. & TREAGUST, D.: 1994, A Historical Analysis of Electric Currents in

Textbooks: A Century of Influence on Physics Education, **Science & Education**, v. 3, n. 2, p. 131-154, 1994.

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

TABER, K. S. Meeting Educational Objectives in the Affective and Cognitive Domains: Personal and Social Constructivist Perspectives on Enjoyment, Motivation and Learning Chemistry. In: *Affective Dimensions in Chemistry Education*. Springer Berlin Heidelberg, p. 3-27, 2015.

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

TREAGUST, David; DUIT, Reinders; NIESWANDT, Martina. **Sources of students' difficulties in learning chemistry**. *Educación Química*, v. 11, n. 2, p. 228-235, 2000.

TVERSKY, B. **Prolegomenon to Scientific Visualizations**, In: GILBERT, J.K. (ed), *Visualization in Science Education*, Dordrecht: Springer 2005.

VARELA, A. V. Aplicação de teorias cognitivas no tratamento (The Application of Cognitive Theories in the Information Treatment). **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, v. 3, n. 2, p. 116-128, 2007.

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

_____. **Education: the best part of Piaget's heritage**. Bern, *Swiss Journal of Psychology*, v. 55, n.2/3, p. 112-118, 1996a.

_____. **A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos**. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, Nº 4, p. 9-19, 1996b

_____. Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H.; Confrey, J. (Eds.) **The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics**. Albany: State University of New York Press. p. 41-59, 1994.

_____. **Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: lês structures additives**. *Atelier International d'Eté: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho. 1983a.

_____. Multiplicative structures. In: LESH, R.; LANDAU, M. (Eds.) **Acquisition of Mathematics Concepts and Processes**. New York: Academic Press, p. 127-174, 1983b.

_____. Teoria dos Campos Conceituais. In: NASSER, L. (Ed.) **Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ. p. 1-26, 1993.

VISHNUMOLAKALA, V. R.. **An exploration of process oriented guided inquiry learning in undergraduate Chemistry classes**. Tese. Curtin University, Science and Mathematics Education Centre. 2013. Disponível em : http://espace.library.curtin.edu.au/R?func=dbin-jump-full&local_base=gen01-era02&object_id=199992

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

_____. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1998a. 191 p.

_____. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1998b. 194 p.

VYGOTSKY, L. S.; LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. O desenvolvimento da escrita na criança. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**, p.119-142, São Paulo: Ícone, 1988.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education. I. **Physics education**, v. 14, n. 2, p. 108-112, 1979.

WU, H-K., KRAJCIK, J. S., SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: student's use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 7, p. 821-842, 2001.

WU, H.K.; SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science Education**, v.88, n. 3,p.465-492, 2004.

ZHANG, J. The Nature of External Representations in Problem Solving. **Cognitive Science**, v. 21, n.2, p. 179–217, 1997.

8 PRODUÇÕES DECORRENTES DESTE TRABALHO

Capítulos de Livros Publicados

ANDRADE NETO, A. S., RAUPP, D. T., AURORA, M. Uso de simulações e modelagem no ensino de física e química: um busca de um referencial teórico norteador in: a pesquisa em ensino de ciências e matemática: alguns caminhos percorridos. 1 Ed.Canoas : Ulbra, 2011, p. 207-239

Artigos completos publicados

RAUPP, D. T., ANDRADE NETO, A. S., MOREIRA, M. A.. An investigation of the operational invariants of a chemistry student after using a software, 2011. Conference of the European Science Education Research Association; Lyon, France.

RAUPP, D. T., DEL PINO, J. C. Aprendizado de estereoquímica mediado por representações tridimensionais: uma perspectiva vygotskyana, 2011. I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática; Tandil, Argentina.

RAUPP, D. T., ANDRADE NETO, A. S. Novas tecnologias e aprendizagem significativa em isomeria: a perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, 2011. (Seminário Estadual de Pesquisa em Ensino de Ciências e Matemática; Canoas, Brasil.

RAUPP, D. T., ANDRADE NETO, A. S., DEL PINO, J. C. Uma investigação da aquisição e do uso de representações mentais no processo de aprendizagem em estereoisomeria, 2011. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências; Campinas, Brasil.

RAUPP, D. T. ; DEL PINO, J. C. . Modelagem Molecular no Ensino Médio: Estratégias para o Ensino de Geometria Molecular.. In: 32º EDEQ: Encontro de Debates sobre o Ensino de Química e Saberes Docentes: memórias, narrativas e práticas, 2012, Porto Alegre. Anais 32º ENPEC, 2012.

RAUPP, D. T., EICHLER, M. L. A rede social Facebook e suas aplicações no ensino de química. RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação. , v.10, p.1 - 10, 2012.

RAUPP, D. T., ANDRADE NETO, A. S., DEL PINO, J. C. A conceptual understanding of higher education students on stereochemistry. Conference of the European Science Education Research Association – ESERA, Nicosia, Chipre. A ser realizada em setembro de 2013.

RAUPP, D. ; DEL PINO, J. C. . O desafio do ensino de estereoquímica no Ensino Médio e o papel da visualização. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013, Águas de Lindóia. Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013. p. 1-8.

Artigo Aceito para publicação

RAUPP, D. T., DEL PINO, J. C Estereoquímica no Ensino Superior: historicidade e contextualização em livros didáticos. Revista Acta Scientiae.

ANEXO A - TESTE DE DIAGNÓSTICO EM ESTEREOQUÍMICA

Stereochemistry Concept Test



Directions

The purpose of the questions in this booklet is to find out your understanding of stereochemistry concepts. Your reason for choosing an answer is as important as the answer itself.

Record your answers to each question in the Answer Sheet provided. Please do not mark this booklet. Answer every question.

In answering each question, go through the following:

1. **Read the question carefully.**
2. **Take time to calculate and consider your answer.**
3. **Record your answer in the correct box on the Answer Sheet.**
To register a response completely, fill the bubble ● corresponding to your chosen answer with a blue or black ballpoint pen.
4. **Read the set of possible reasons for your answer.**
5. **Carefully select the reason which best matched your thinking when you worked out the answer.**
6. **Record your answer in the correct reason box on the Answer Sheet.**
To register a response completely, fill the bubble ● corresponding to your chosen answer with a blue or black ballpoint pen.
7. **If you change your mind about an answer, cross out the old answer and add the new choice.**
Cross out your unwanted answer or reason with a blue or black ballpoint pen and completely fill the bubble ● with your new chosen answer
8. **Don't forget to record your name and other details on your Answer Sheet**

Stereochemistry concept test is being administered as part of a research studies and your involvement in this research is entirely voluntary. Your achievement in this stereochemistry concept test **doesn't** affect your semester grade in Chem 102.

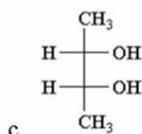
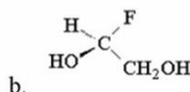
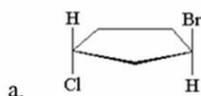
You are invited to participate in a focus group discussion to have a feedback on stereochemistry concept test and also revision help for the examinations.

Please contact Ven (email: venkat.vishnumolakala@curtin.edu.au) for more details:

Stereochemistry concept Test

Question 1

Determine which of the compounds have stereogenic carbon atoms (chiral centres)?



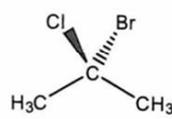
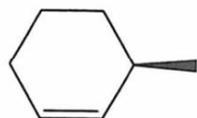
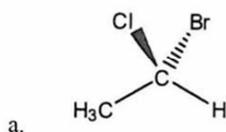
d. All of them

Reason

1. molecules are non-superimposable on their mirror images
2. molecules are super-imposable on their mirror images
3. the chiral carbon isn't bonded to four different groups
4. they do not have a plane of symmetry

Question 2

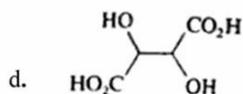
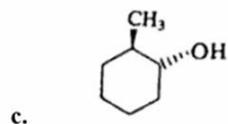
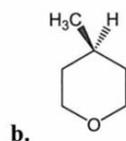
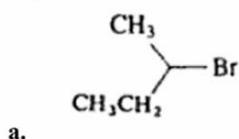
Which of the following doesn't have an enantiomer (is not an enantiomer)?

**Reason**

1. It has a chiral center
2. doesn't have a plane of symmetry
3. It is achiral
4. its a chiral molecule with no chiral centre

Question 3

Identify the achiral molecules



e. they are all chiral

ANEXO B – AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

07/07/2015

Gmail - Dover Publications: Rights & Permissions



Daniele Raupp <dtraupp@gmail.com>

Dover Publications: Rights & Permissions

1 mensagem

Schwendemann, Joann <jschwendemann@doverpublications.com>

29 de junho de 2015 14:50

Para: "dtraupp@gmail.com" <dtraupp@gmail.com>

Dear Daniele,

Dover Publications, Inc., hereby grants you permission to reproduce the attached figure in your PhD in Chemical Education in Brazil from:

The Dover book "Alchemy" by Holmyard, E.J., depicted in page 153 and 154

Please give appropriate credit to the author, title and publisher of the edition in any standard form.

Sincerely,

Dover Publications, Inc.

Rights & Permissions Dept.

From: Daniele T. Raupp [mailto:dtraupp@gmail.com]**Sent:** Monday, June 29, 2015 10:09 AM**To:** Diana Grey**Subject:** Fwd: Courier Corporation

Dear Sir/Madam,

I am writing my PhD Thesis in Chemical Education in Brazil. I came across the attached figure in the book "Alchemy" by Holmyard, E.J., depicted in page 153 and 154. I am writing this email to kindly ask for permission to reprint the figure in my PhD thesis copies (three printed copies plus a pdf version to be stored in CAPES - the government thesis repository, required by Brazilian law). Naturally, the picture's original book is cited in the figure caption and its citation is written in the bibliography.

Yours faithfully, Daniele Raupp

18/06/2015

Rightslink® by Copyright Clearance Center



RightsLink®

Home

Create Account

Help



Title: Aids in teaching stereochemistry:
Plastic sheets for plane projection diagrams

Author: H. J. Shine

Publication: Journal of Chemical Education

Publisher: American Chemical Society

Date: Jul 1, 1957

Copyright © 1957, American Chemical Society

LOGIN

If you're a [copyright.com](#) user, you can login to RightsLink using your [copyright.com](#) credentials. Already a [RightsLink user](#) or want to [learn more?](#)

PERMISSION/LICENSE IS GRANTED FOR YOUR ORDER AT NO CHARGE

This type of permission/license, instead of the standard Terms & Conditions, is sent to you because no fee is being charged for your order. Please note the following:

- Permission is granted for your request in both print and electronic formats, and translations.
- If figures and/or tables were requested, they may be adapted or used in part.
- Please print this page for your records and send a copy of it to your publisher/graduate school.
- Appropriate credit for the requested material should be given as follows: "Reprinted (adapted) with permission from (COMPLETE REFERENCE CITATION). Copyright (YEAR) American Chemical Society." Insert appropriate information in place of the capitalized words.
- One-time permission is granted only for the use specified in your request. No additional uses are granted (such as derivative works or other editions). For any other uses, please submit a new request.

If credit is given to another source for the material you requested, permission must be obtained from that source.

BACK

CLOSE WINDOW

Copyright © 2015 [Copyright Clearance Center, Inc.](#) All Rights Reserved. [Privacy statement](#). [Terms and Conditions](#).
Comments? We would like to hear from you. E-mail us at customercare@copyright.com

18/05/2015

RightsLink® by Copyright Clearance Center



RightsLink®

Home

Create Account

Help

ACS Publications
Most Trusted. Most Cited. Most Read.

Title: [On teaching stereochemistry]
Author: F. Fromm
Publication: Journal of Chemical Education
Publisher: American Chemical Society
Date: Feb 1, 1945
 Copyright © 1945, American Chemical Society

LOGIN

If you're a [copyright.com](#) user, you can login to RightsLink using your [copyright.com](#) credentials. Already a RightsLink user or want to [learn more?](#)

PERMISSION/LICENSE IS GRANTED FOR YOUR ORDER AT NO CHARGE

This type of permission/license, instead of the standard Terms & Conditions, is sent to you because no fee is being charged for your order. Please note the following:

- Permission is granted for your request in both print and electronic formats, and translations.
- If figures and/or tables were requested, they may be adapted or used in part.
- Please print this page for your records and send a copy of it to your publisher/graduate school.
- Appropriate credit for the requested material should be given as follows: "Reprinted (adapted) with permission from (COMPLETE REFERENCE CITATION). Copyright (YEAR) American Chemical Society." Insert appropriate information in place of the capitalized words.
- One-time permission is granted only for the use specified in your request. No additional uses are granted (such as derivative works or other editions). For any other uses, please submit a new request.

If credit is given to another source for the material you requested, permission must be obtained from that source.

BACK

CLOSE WINDOW

Copyright © 2015 [Copyright Clearance Center, Inc.](#) All Rights Reserved. [Privacy statement](#). [Terms and Conditions](#).
 Comments? We would like to hear from you. E-mail us at customerscare@copyright.com

Dados de Identificação para o pré-teste

APÊNDICE A - PRÉ TESTE ENSINO SUPERIOR

NOME: _____ IDADE: _____

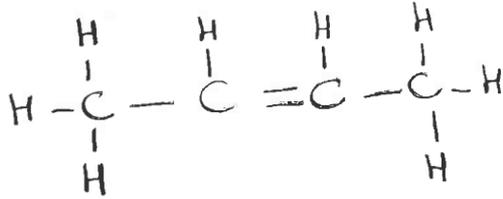
Desenhe os seguintes isômeros em 3D, utilizando a(s) folha(s) fornecida(s) em anexo.

- a) *cis*-2-buteno e *trans*-2-buteno
- b) *cis*-1,2-dibromociclopropano e *trans*-1,2-dibromociclopropano
- c) Ácido *cis*-butenodióico (maleico) e Ácido *trans*-butenodióico (fumárico)

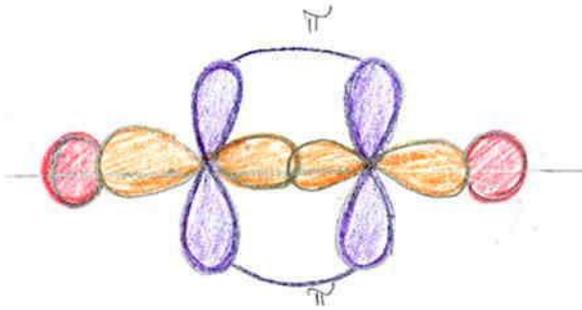
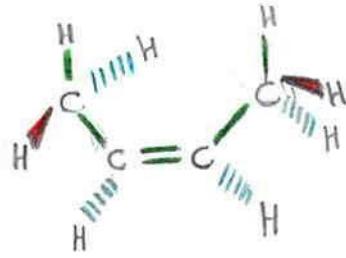
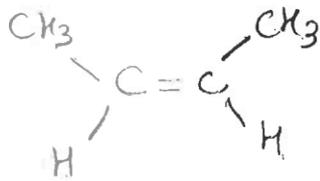
cis-2-buteno e trans-2-buteno

a)

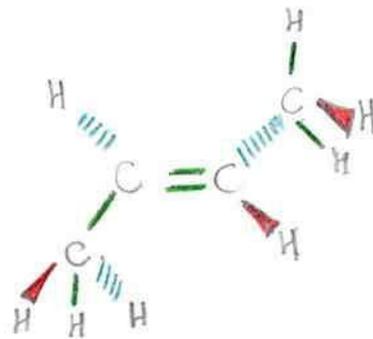
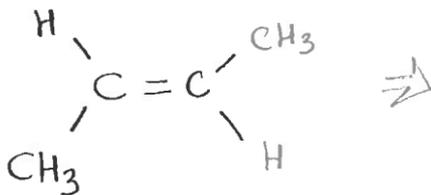
FÓRMULA MOLECULAR



cis

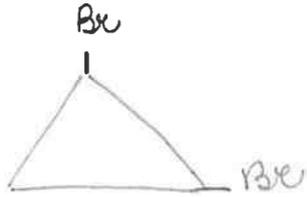


TRANS

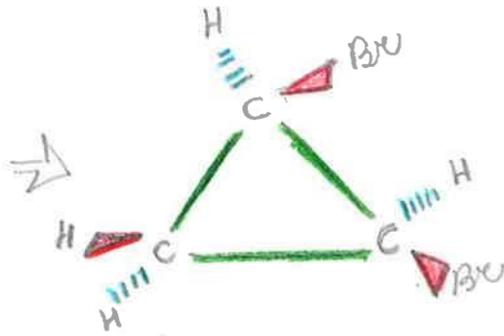
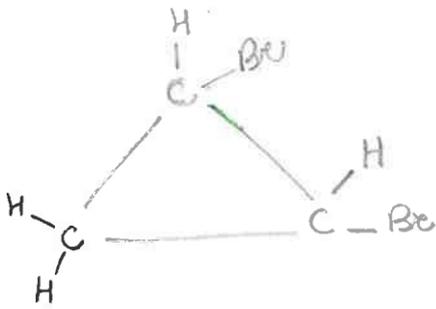


b) cis, 1,2-dibromociclopropano e trans, 1,2-dibromociclopropano

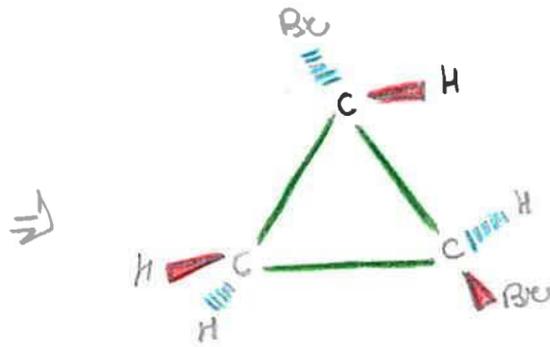
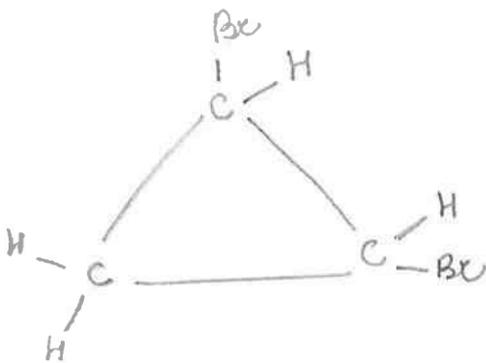
FÓRMULA
MOLECULAR



cis



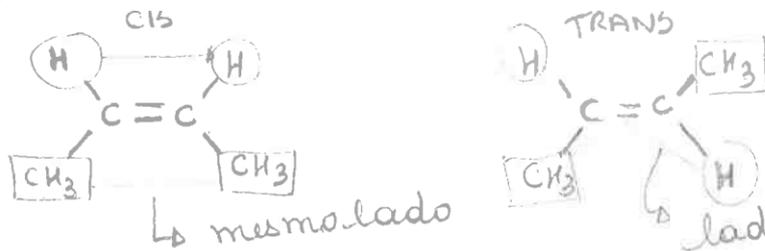
TRANS



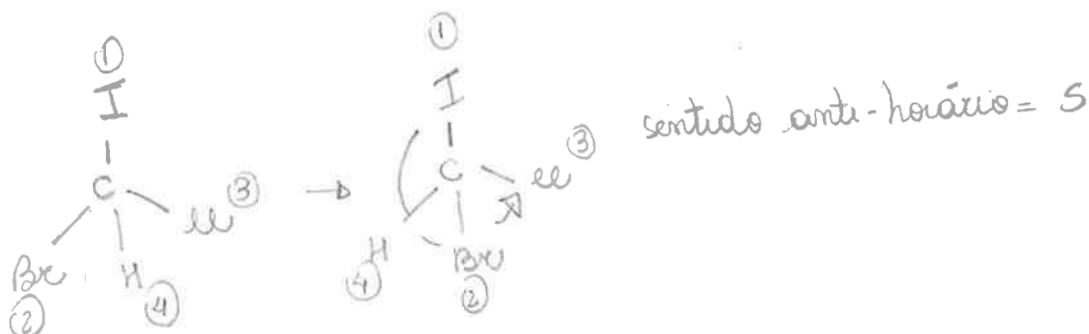
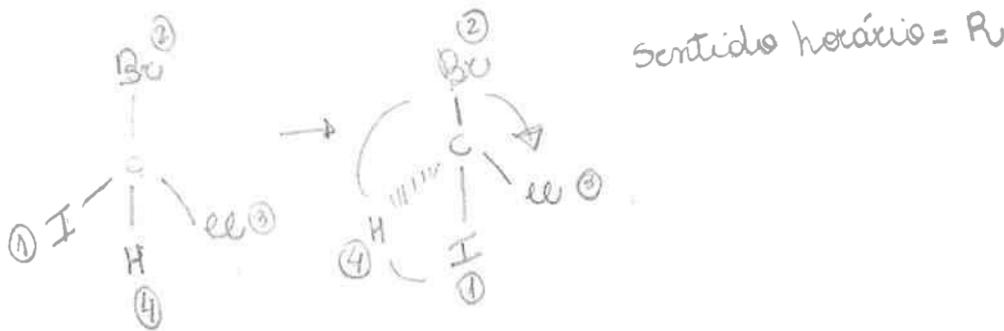
Imagine que você vai explicar a um outro colega tudo o que sabe sobre Isomeria. Você pode utilizar texto, equações, fórmulas, desenhos, tabelas, da forma que desejar.

Primeiramente para averiguar se dois compostos são isômeros devemos sempre confirmar se eles apresentam a mesma fórmula molecular. Depois contamos elemento por elemento e somente depois vamos descobrir de qual composto estamos tratando.

Para sabermos se um composto é cis ou trans, tratamos neste momento da nomenclatura, vejamos o exemplo abaixo.



Há também outra consideração importante, o composto pode ser R ou S. Para entendermos, abaixo encontra-se outro exemplo.



Para apresentar isomeria ótica, geralmente o composto apresenta um carbono quiral, este é constituído por 4 ligantes diferentes.

TRANSCRIÇÃO ENTREVISTA PRÉ TESTE

Prof: Muito bem Estudante é o seguinte, quero que tu me explique basicamente, como tu fez a tua... as perguntas, ou seja, desenhar os isômeros em 3D utilizando as folhas em anexo, começando pelo isômero A. Basicamente eu quero saber, assim que tu leu, o que passou pela tua cabeça. Como é que tu...

Estudante: Tá. Primeiro eu olhei aqui então, direitinho o nome do composto. Aí primeiro eu fiz a fórmula molecular para mim saber depois separar o cis do trans. Aí eu desenhei aqui direitinho. Eu prefiro colocar geralmente assim para ficar mais fácil de visualizar. Geralmente os professores usam mais aquela fórmula de traços, né? Mas assim como aqui a molécula tá aberta, consigo ver melhor. Para mim né...

Daí eu peguei aqui e depois montei então o cis e o trans. Aí pelo conhecimento cis do mesmo lado e trans lados opostos.

Prof: Hum...

Estudante: Aí aqui eu só representei ainda a fórmula molecular de outra forma. Aí eu vim para cá que seria mais então na fórmula 3D que dizem né? O que tá pra frente, o que tá no plano, o que ta pra trás. Aí aqui eu fiz a ligação dupla. Aqui estaria no mesmo plano. Aí aqui então uma pra trás e uma pra frente e aqui no plano. Sempre duas ligações no plano, uma pra frente e uma pra trás. E aqui o trans da mesma forma, só que daí esse aqui vai tá para trás e esse pra frente porque aqui os dois estavam no mesmo plano.

Prof: Perfeito...

Estudante: E, tá. Essa foi o primeiro. O segundo...

Prof: Pode continuar...

Estudante: O segundo um pouco mais difícil de visualizar. Por que como é um ciclo assim, eu tenho mais dificuldade para ver as ligações. Mas também fiz dessa forma. Aqui eu desenhei os orbitais.

Prof: Ah tá!

Estudante: Mais aqui eu não consegui. Porque não sei mesmo. Não consegui visualizar.

Prof: O desenho dos orbitais tu fez porque tu quisesses alguma coisa...

Estudante: Sim, porque eu achei interessante, tipo, representar aqui a ligação pi que tem os dois orbitais P, as ligações sigma e aqui né, as ligações com o hidrogênio.

Prof: Tem algum motivo ligado, quem sabe alguma aula que tu ta tendo agora?

Estudante: Eu tô fazendo agora a Orgânica e Inorgânica junto e agente vê bastante o orbital. E às vezes fica mais fácil de visualizar também.

Prof: Uhum.

Estudante: Mas esse daqui como era ciclo eu não sabia direitinho daí eu preferi deixar só assim, para não ter problema. Mas antes que errar...

Prof: Ah, tá certo.

Estudante: Eu coloco para ter mais certeza. Aqui da mesma forma. Primeiro eu fiz a fórmula molecular e coloquei aqui, dois no plano, uma pra frente outro pra trás. Só que aqui o hidrogênio ta pra trás. Daí aqui o Bromo ta pra trás. Para representar então cis do mesmo lado e trans lados opostos. E na última a mesma idéia da primeira. É praticamente a mesma idéia da primeira. Eu troquei aqui. Aqui as duas estão no plano também, normal, a ligação dupla nesse aqui pra trás e esse pra frente. Daí aqui lados opostos então, ó. O hidrogênio ta pra trás e aqui também. Só que aí no caso, esses aqui tão do mesmo lado e lados opostos. É, eu fiz assim: primeiro fiz a fórmula molecular depois coloquei o que tava no plano pra frente e pra trás.

Prof: uhum.

Estudante: O desenho assim mesmo das moléculas fica mais difícil no papel que representar né? Porque a gente sabe que não é uma coisa assim bem separada né. É uma coisa é bem mais juntinha. Parece uma nuvem que ta bem pertinho. E no papel a gente representa assim bem longe.

Prof: Isso que tu ta me falando, me parece alguma coisa que tu ta imaginando.

Estudante: É.

Prof: E aí eu queria que tu me explicasse. Eu só vou voltar um pouquinho que a última, basicamente a última parte, que eu vou te perguntar, é que quando tu me falou bem direitinho, como tu explica, como tu desenha, assim que tu leu, tu viu alguma coisa, veio alguma coisa na tua cabeça ou tu começou escrever? Quando tu leu o nome do composto...

Estudante: Eu comecei já a escrever a fórmula molecular.

Prof: Aí nada apareceu na tua cabeça nesse momento?

Estudante: De desenho assim a principio não.

Prof: Não né?

Estudante: Daí eu representei aqui e aí nesse momento que eu comecei pensar para frente e pra trás.

Prof: Aí quando tu passou daqui para cá, já começou imaginar alguma coisa?

Estudante: Sim.

Prof: Porque aqui já tem a distribuição espacial. Vc de certa forma, tá prestando atenção.

Estudante: É que tipo assim, aqui assim tem uma coisa que ta mais assim. Aqui tem uma nuvem, digamos assim, e aí eles estão mais próximo aqui.

Prof: Uhum.

Estudante: Aí tipo assim, eu imaginei nesse momento.

Prof: Mas. Essa nuvem que tu me fala é entre estes dois carbonos com ligação dupla?

Estudante: É, eles não estão juntos, mais estão bem próximos.

Estudante: Quando a gente vê, por exemplo, quando eu vejo o professor apresentar a matéria, a gente sabe que a molécula não é assim como a gente representa no papel. E aí tu tem que imaginar assim o que é que é lá. Eu imagino as... Tipo assim, os orbitais né, tipo a ligação pi, uma do lado da outra, só que não tem assim uma visão clara de como seria direitinho cada uma.

Prof: Huhunn...

Estudante: Sabe mais ou menos que é aquela coisa, aquela coisa assim junta sabe?

Prof: Da mesma forma que... Primeiro deixa eu recapitular... Tu desenha sem necessariamente imaginar nada?

Estudante: É eu já pensei nas...

Prof: Só olhando para a fórmula, aí, desculpe para o nome, aí você desenha a fórmula molecular. E aí a partir daqui tu começa partir daqui tu começa imaginar algumas coisas.

Estudante: (faz sinal com a cabeça concordando)

Prof: Quando tu imagina é parecido com isso, é mais parecido com isso, ou é um pouquinho diferente?

Estudante: É mais parecido com isso.

Prof: Ah tá certo! Então daqui tu já começa a ver os orbitais moleculares e começou a imaginar isso na tua cabeça.

Estudante: Sim.

Prof: Tá ótimo. Neste caso daqui tu me falou que não consegue visualizar muito bem os orbitais moleculares então por acaso que tipo de imagem surgiu na tua cabeça. Mais parecido com alguma dessas coisas ou diferente?

Estudante: É esse daqui seria uma coisa mais junta

Prof: Huhumm

Estudante: E esses aqui, os outros que tão pra frente pra trás mais assim tipo separadinhos.

Prof: Mas que modelo tu imaginou, uma coisa mais próxima do que, quando. Ou tu não imaginou, quando tu passou daqui pra cá.

Estudante: Não. Até imaginei como se fosse uma pirâmide, mesmo assim como eu representei no papel, só que ficou mais difícil, tipo, eu teria que subir isso.

Prof: Hum... Tá certo.

Estudante: Tipo... uma pirâmide.

Prof: Vc imaginou com cezinhos com bolinhas. Alguma coisa assim?

Estudante: Com bolinhas tipo...

Prof: Ah! Tá certo com bolinhas aqui e ali

Estudante: Tipo a pirâmide com as bolinhas

Prof: As bolinhas representando os carbonos e os hidrogênios também com outras bolinhas.

Estudante: Ligados isso.No caso teria que ter o átomo de bromo com uma bolinha né, também.

Prof: Tu imaginou algum tipo de cores nesses desenhos ou nas tuas imagens da tua cabeça?

Estudante: É como a gente vê sempre na aula aqueles modelos, modelos que o professor usa também, sempre quando tem tipo um elemento desse tipo bromo, iodo, cloro é uma cor diferente, daí sim, geralmente é tipo uma cor vermelha, mas aqui eu só representei a ligação aqui mesmo. Mas na hora de imaginar, na hora que eu fiz isso mesmo eu não imaginei.

Prof: Huhum.Com relação ao tamanho, alguma coisa?Tu consegue, tu imagina algum tamanho?

Estudante: Aqui eu imagino o maior e aqui eu imagino o menor.

Prof Isso ocorre naturalmente ou só depois que eu pergunto?Ou seja, naturalmente tu já imagina os tamanhos diferentes com cores diferentes?

Estudante: Não se eu for só fazer tipo pra prova, eu não vou pensar.

Prof: Tu não vai pensar mesmo. Tu experimenta colocar o elemento pronto. É tá certo

Estudante: Mas se eu pensar num modelo depois, se o professor no caso falar alguma coisa aí eu vou pensar.Daí vai ser tamanhos diferentes e cores diferentes.

Prof: OK...

Estudante: Para identificar quem que é quem. O bromo é diferente, tem eletronegatividade diferente.Essas coisas...

Prof: O último tu chegou a fazer também?

Estudante: Da mesma forma que o primeiro.

Prof: Huhum.

Estudante: Aqui eu não representei o resto pq eu não sabia também como.

Prof: Certo. Ah tá o COOH...

Estudante: E também não imaginei como é...

Prof: Ah. OK. E quanto ao esquema dos orbitais moleculares tu imaginou aqui?

Estudante: Não

Prof: Não, só no primeiro?

Estudante. No primeiro porque o primeiro era o mais simples digamos assim. Esse daqui como tem o Oxigênio fica mais difícil eu acho.

Prof: Hum, to entendendo. Aí tu não conseguiu imaginar...

Estudante: Tá, mas nessa hora que eu pinteí eu tentei imaginar. Como não sabia e esse segundo aqui também foi mais difícil, daí ficou mais complicado. Do primeiro sim porque era o mais facilzinho assim eu tenho mais noção né?Os outros ou até tentei imaginar, mas não consegui saber nada.Tipo, Ah é assim...

Prof: Perfeito.Passar para última parte... Tu escreveu bastante...Bem legal.

Estudante: É eu dados bem dispersos digamos assim coloquei aqui que primeiro a gente tem que ver para ver se é isômero mesma formula molecular aí tem que contar elemento por elemento pra ver ah aqui, por exemplo, ó tem quatro carbonos, seis, sete, oito hidrogênios e esse aqui também o cis e o trans. Falando em nomenclatura, cis mesmo lado trans lados opostos se eu fosse explicar para alguém eu vou explicar mais ou menos assim. Aqui eu tenho uma metila e a metila tá do lado do oposto e aqui a metila tá do mesmo lado e o hidrogênio tá do mesmo lado.E tem uma outra consideração que é importante né na isomeria que nos aprendemos na orgânica que se é o isômero R ou S. Aqui a ordem de prioridade é pelo número atômico...

Prof: Pode ir falando...

Estudante: Aí vai começando pelo Iodo, Bromo, Cloro e Hidrogênio. Daí por ordem de prioridade faz uma troca colocando o hidrogênio sentido horário é R e anti-horário é S. No caso isso seria na parte de isomeria ótica. Aí eu coloquei que geralmente um composto que apresenta isomeria ótica e tem o carbono quiral. Geralmente, não é sempre, não regra e esse carbono é constituído por quatro ligantes diferentes pra ser considerado carbono quiral.Essa parte a gente tava vendo na cadeira de orgânica.

Prof: Em relação às imagens aqui tu imagina mais ou menos como isso, como tu escreveu esse texto ou simplesmente tu escreveu o que tu sabia, mas não necessariamente imaginar uma molécula.

Estudante: Não imaginei.

Prof Não imaginou?

Estudante: Não.

Prof. Não, só queria saber. Outra coisa ultima perguntinha que eu quero fazer, depois a gente vai passar até um questionário. Tu usa computador em casa.

Estudante: Huhumm.

Prof: Mais ou menos com que frequência? Bastante, pouco?

Estudante: Bastante. Pra fazer uso pra trabalhos da faculdade

Prof: Para faculdade que tipos de ferramentas tu usa em geral?

Estudante: Só o básico... Word...

Prof: Excel, alguma coisa assim.

Estudante: E Power Point para apresentação.

Prof: Power Point para apresentação. Internet coisas desse tipo tu usa bastante

Estudante: Sim pra ler e-mail, essas coisas...

Prof: Orkut, chat esse tipo de coisa.

Estudante: Não chat não.

Prof: Mas basicamente Orkut e e-mail assim tu usa.

Estudante: Sim.

Prof: Tá. Muito obrigado acho que era só isso daqui mesmo, por enquanto.

APÊNDICE B - THINK ALOUD

A Técnica de Entrevista *Think Aloud*

Think Aloud é um método usado no recolhimento de dados em testes de usabilidade de projetos e no desenvolvimento de produto, na psicologia e em educação. O método foi desenvolvido por Clayton Lewis quando estava em IBM, e envolve os participantes que pensam em voz alta enquanto estão executando um conjunto de tarefas específicas. Os usuários são solicitados a dizer o que quer que estejam olhando, pensando, fazendo, e sentindo, enquanto vão executando sua tarefa. Isto permite os observadores verem em primeira-mão o processo de conclusão da tarefa. As sessões do teste são frequentemente gravadas em áudio e vídeo de modo que os colaboradores possam voltar a gravação e transcrever o que participantes fizeram, e como reagiram. A finalidade deste método é fazer explícito o que está implicitamente sendo feito durante a execução de uma tarefa específica. No nosso caso, as tarefas serão resolução de problemas em química e o objetivo é investigar o processo mental que cada pessoa utiliza para resolução destes problemas.

Exemplos:

“Feche seus olhos. Pense nas etapas que você utiliza para, como professor, formar grupos de estudantes para uma atividade. Como você determina o número de grupos e o número de estudantes em cada grupo? Que habilidades mentais você usa para a resolver este problema? O processo de verbalizar a solução - ou compartilhar os seus pensamentos com os estudantes de modo que possam seguir os seus passos, dentro de seu cérebro - é o que é conhecido como um "think-aloud." Jeffrey Wilhelm escreve, " Think-Aloud faz processos mentais invisíveis serem visíveis a crianças" (Instrutor, novembro. /Dec. 2001, página 26.)

Pais podem utilizar a técnica *Think-Aloud* para mostrar a seus filhos como organizam o seu tempo: Você pode dizer, *"Eu sei que o hora do almoço é as 12:00. Agora são 11:40. Eu posso contar de cinco em cinco minutos para saber quantos minutos faltam até o hora do almoço: 11:45, 11:50, 11:55, 12:00. Eu contei cinco minutos quatro vezes, de modo que são 20 minutos ao todo. O almoço estará pronto em 20 minutos."*

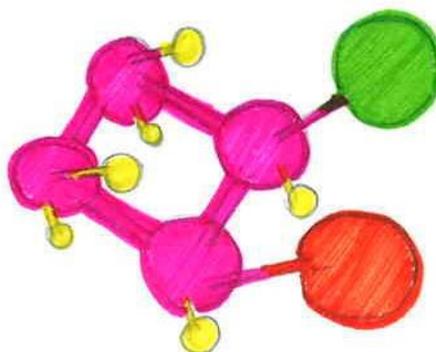
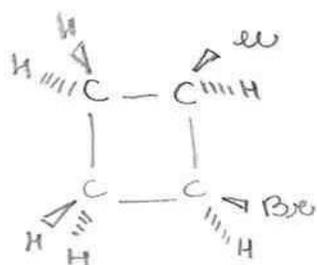
APÊNDICE C – PÓS-TESTE ENSINO SUPERIOR

Dados de Identificação para o pós-teste

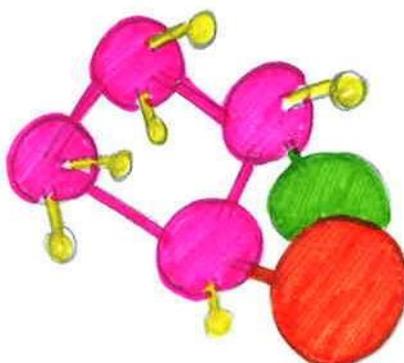
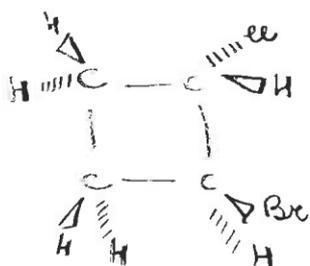
Desenhe os seguintes isômeros em 3D, utilizando as folhas fornecidas em anexo.

- cis/trans-1-cloro-2-bromociclobutano
- cis/trans-1,2- dicloroeteno
- cis/trans-3-Cloro-2-buteno

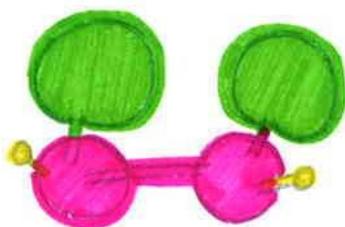
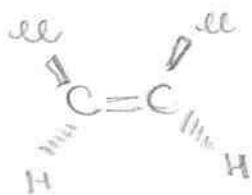
a) CIS-1-CLORO-2-BROMOCICLOBUTANO



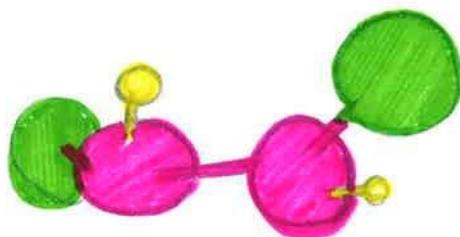
TRANS-1-CLORO-2-BROMOCICLOBUTANO



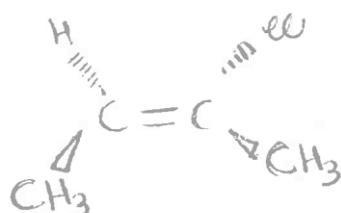
b) CIS-1,2-DICLORO ETENO



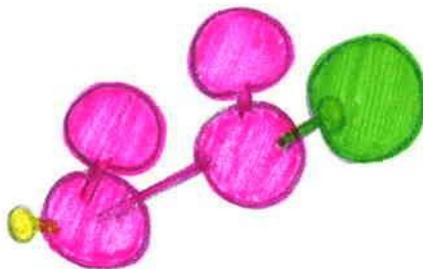
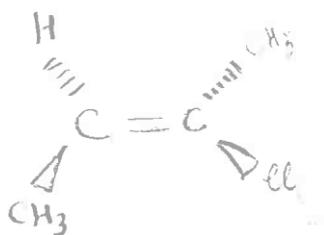
TRANS-1,2-DICLORO ETENO



c) CIS-3-CLORO-2-BUTENO



TRANS-3-CLORO-2-BUTENO



Imagine que você vai explicar a um outro colega tudo o que sabe sobre isomeria. Você pode utilizar texto, equações, fórmulas, desenhos, tabelas, da forma que desejar.

Para analisarmos se dois compostos apresentam isomeria, primeiramente devemos fazer uma contagem no nº de elementos dos 2 compostos. Ambos devem apresentar mesma fórmula molecular.

Existe o isômero cis e o isômero trans

O isômero cis é aquele que apresenta 2 "elementos" no mesmo plano. Imagine que você faça um corte na estrutura, verá será a mesma coisa "cortada" em ambos os lados.

O isômero trans é aquele que, se você fizer um corte, verá que os "elementos" não estão no mesmo plano.

É importante salientar que ao contrário do que muitos pensam as ligações estão em constante movimento, pois os elétrons não ficam definidos em um único lugar.

TRANSCRIÇÃO ENTREVISTA PÓS TESTE

Prof: Estudante, seguinte a mesma pergunta mais ou menos que eu te fiz antes tá, então eu vou te perguntar como é que tu desenhou e noto que tu mudou bastante as tuas moléculas, tá?

Estudante: Sim. Agora eu consigo visualizar bem melhor. Sério mesmo.

Prof: Ah é?

Estudante: Uma coisa bem assim, que eu achei bem diferente, que eu consegui ver e agora eu imagino mesmo quando eu... Fala já penso é diferenciar os átomos, por exemplo, o cloro e o bromo. Quando tu desenha assim no papel aparentemente é a mesma coisa. Mas quando tu vê a molécula tipo por exemplo que a gente fez no programa e agora eu consigo ver ,não, são coisas bem diferentes, no caso aqui eu diferenciei por cores né e aqui as ligações também , aqui eu não representei as nuvens, mas as nuvens também de elétrons que tá tipo demonstrando que tem uma, que no caso é um agrupamento que tem tipo as nuvens também. Daí eu consigo ver.

Prof: Ah tu conseguiu ver.

Estudante: Sim.

Prof: Aí tu não representou né?

Estudante: Não.

Prof: É verdade, por quê?

Estudante: Ah, porque assim é mais fácil.

Prof: Ah tá.

Estudante: É mais simples. Não, mas eu consigo pensar.

Prof: Tu consegue de todo o jeito que se tu quiseres colocar as nuvens de elétrons, que legal, só que agora tu optou por uma forma que é mais simples.

Estudante: É que essa forma de ,como se chama? Palitos? Palitos e... Não é paus e...

Prof: Bolinhas

Estudante: É.

Prof: Isso.

Estudante: Fica mais fácil de visualizar.

Prof: Ah que legal! E agora ela já...

Estudante: E outra também por exemplo aqui ó, quando a gente, quando eu desenho o ciclopropano, aqui é um quadrado né , mas aqui tipo eu consigo ver uma outra forma, tipo assim e outra, tipo mexendo. No programa da pra mexer né? Ali parece que a coisa tá parada né, mas aí no programa dá pra mexer daí tu vê que lá atrás tem uma ligação sabe que as vezes é difícil de representar no papel né.

Prof: E quando tu desenhou isso aqui no pós teste, tu conseguiu enxergar também?

Estudante: Sim.

Prof: Ah que legal. E me diz uma coisa tu, eu notei que te tem uns elementos de representação aqui, tu enxerga algumas coisas atrás algumas coisas na frente me explica o que que tu usou pra botar atrás, na frente

Estudante: Aqui ,é como se tivesse aqui o ciclobutano aí aqui está o plano acima que no caso estão representados o bromo, é os dois bromos. Que que eu fiz aqui? Eu poderia... cores diferentes, mas são dois bromos.

Prof: Huhum.

Estudante: Ta, tão representados acima e aqui desta forma os hidrogênios, e lá no outro plano estão representados os outros elementos ó. Os hidrogênios.

Prof: Ah, to entendendo.

Estudante: E aqui no caso, que tá aqui pra cima, é um bromo e um hidrogênio e aqui também ó dois hidrogênios. E aqui no caso estariam pra trás dos outros elementos. Os hidrogênios aqui, um por um.

Prof: E tu me falou...

Estudante: Só tá meio escondidinho prque aqui no caso esse aparece mais poque está

Prof: Ah tá, pra cima.

Estudante: É.

Prof: Tu me falou que tu enxerga melhor as estruturas né, então isso te ajuda a diferenciar melhor as estruturas cis e trans?

Estudante: Huhum. Eu acho que sim.

Prof: Tuas figuras estão bem legais mesmo. Vou passar pra próxima. Eu fiquei surpreso até de ver que na segunda folha, é, tu achou essa daqui mais simples que a outra?

Estudante: Não.

Prof: Tu não achou?

Estudante: Não, uma coisa que eu achei que tipo, porque tem uma ligação pi aqui né. A ligação pi, ela é demonstrada não de uma forma diferenciada. Então a gente sabe que a ligação pi não é igual a ligação sigma, mas aqui no caso eu representei da mesma forma. Mas eu sei que tem uma ligação pi que mais aqui não aparece tipo a ligação pi.

Prof: Huhum. Então eu achei aqui até mais fácil.

Prof: Ah! Tá certo! É algumas pessoas usam dois

Estudante: Tracinhos...

Prof: Dois tracinhos né? Poderias fazer. Mas realmente é uma falha dessa visualização de bolinhas e pauzinhos que não necessariamente coloca duas. Tu viu outra que representava a ligação pi? No programa quando clicava lá nas diferentes representações. Tu se lembra de alguma?

Estudante: Não.

Prof: Nem que forma assim dois pauzinhos, alguma coisa assim?

Estudante: Não porque não parecia no caso quando tu colocava pra ficar no espaço né, tipo a molécula, não representava a ligação pi.

Prof: Ah tá certo.

Estudante: No desenho de assim normal que desenha a molécula tu representa mas quando tu coloca para transformar aqui mesmo com as nuvens também não aparece a ligação pi.

Prof: Huhum. E tu sentiu isso.

Estudante: É da mesma forma, mais tipo assim, no caso eu sei o nome do elemento vou desenhar e vou representar, mais isso eu acho que seria uma coisa que teria que ter.

Prof: Tá lá.

Estudante: Seria mais não sei.

Prof: Te incomodou em resumo?

Estudante: Não, não me incomodou assim mas tipo eu sei que é ali, mas tipo eu não representei porque tipo, tem o elemento, é assim.

Prof: Huhum. É porque quando eu te perguntei, tu disseste que na realidade não achou tão simples quanto a outra por causa da ligação pi.

Estudante: É.

Prof: Por isso que eu perguntei se tu tinha se sentido incomodada por fato dessa representação não ter isso.

Estudante: Não. não que eu me sinta incomodada, mas tipo eu achei mais difícil que na outra. Eu não sabia como representar, eu queria mostrar mas não sabia como assim, então podia ser dois pauzinhos.

Prof: Ah entendi. Tu queria mostrar e não sabia como porque a representação que tu viu não mostrava a ligação pi.

Estudante: É.

Prof: No entanto tu sabes que tem uma ligação pi mas não consegue expressar isso.

Estudante: É.

Prof: Tá certo.

Estudante: Aqui da mesma forma então, os dois cloros estão no mesmo plano, lá atrás são dois hidrogênios e aqui então eu vou ter um hidrogênio e um cloro no mesmo plano e aqui um

hidrogênio, é, e um cloro aqui tá atrás então por isso que ele tá mais escondidinho. Daí se virar a molécula vai aparecer ele né.

Prof: Huhum.

Estudante: Que é uma coisa que antes eu não conseguia entender sabe. Tá ali mas eu não conseguia entender, que podia tá lá atrás. Aqui teoricamente teria que tar tudo aqui, tá tudo no papel, mas tipo oq eu tava lá atrás o que tava na frente eu não conseguia entender, diferenciar. Agora eu consigo ver que eu posso girar isso daí e lá atrás vai aparecer daí totalmente o cloro digamos assim.

Prof: Entendi.

Estudante: Também eu achei bem legal assim.

Prof: Que legal. Passar para a próxima. Me explica essa daqui eu noto que voce fez alguma coisa antes e depois...

Estudante: É porque quando eu representei, tinha feito reto na primeira ligação. Daí não, não aparecia bem o cloro e daí eu queria representar ele melhor por que ele tava, no caso aqui ele tá nesse plano e aqui ele tá no outro. Daí eu queria.. aqui ele tá pra trás ele não saia bem, tipo não aparecia bem. No programa também tu pode mudar daí tu vê a forma de visualizar melhor todas as ligações né, pra representar ...

Prof: Tu diz assim tipo rodando a molécula?

Estudante: É, rodando a molécula às vezes tem ângulos que tu consegue ver tudo e às vezes esconde alguma coisa. Entao aqui eu tipo meio que virei. Eu desenhei primeiro ali, daí não aparecia. Daí eu meio que virei pra aparecer.

Prof: E antes eu não via tu fazendo tanto isso, né? Agora..

Estudante: Não, não fazia. Porque eu não pensava eu só escrevia isso daqui ó. Tá eu sabia que tinha um grupo ali também, que não o negócio era só retinho né, que tinha tipo umas nuvens assim. Por que o professor já mostrava na aula assim, coisas do gênero. Mostrava moléculas e a gente percebia que não era isso daqui a molécula, né.

Prof: Mostrava como que?

Estudante: Com o programa.

Prof: Ah com o programa, tá.

Estudante: Tipo o desenho da molécula assim, mas bem simples, né. Por exemplo carbono tetraédrico o carbono ali com os palitinhos né.

Prof: O professor mostrava tipo com lap top, alguma coisa

Estudante: É.

Prof: Ah, tá. Tu já chegou a ter contato com aqueles...

Estudante: Modelinhos?

Prof: Sim.

Estudante: Só visualizando, nunca montei, desmontei.

Prof: Huhum.

Estudante: O professor trabalha com isso também. Até, inclusive ele explicou aqueles conformeros sabe?

Prof: Huhum.

Estudante: Ele explicando com aquilo lá tipo, fica bem mais fácil né? Mas eu não, eu nunca mexi assim.

Prof: E mesmo ele te explicando tu não tava tanto na cabeça como depois que..

Estudante: É, não

Prof: Tu acha que isso é porque, porque tu...

Estudante: É porque tipo no programa eu pratiquei mais né.

Prof: Huhum.

Estudante: E vai vaer eu teria que ter pego a molécula e tentar desmontar e ficar olhando.

Prof: Huhum, to entendendo. Perfeito. É em relação a tua explicação do que é isomeria alguma coisa mudou, tu acho que

Estudante: Eu coloquei assim ó, que eu não tinha colocado que tipo se seu tivesse explicando pra alguém. Imagine que você fará um corte na molécula, tipo na estrutura, você vai ver do mesmo, tipo assim, vai cortar do lado direito vai ter a mesma coisa que do que lado esquerdo. Coisas iguais no mesmo plano de simetria. E se, no caso do isômero trans não, vai ter no caso, elementos, entre aspas que na verdade pode ser grupamentos alguma coisa assim, representados então, um num plano e outro no outro plano de simetria. Daí eu coloquei aqui assim: é importante salientar que ao contrário do que muitos pensam que as ligações estão em constante movimento. Porque era uma coisa que eu não visualizava muito, mas agora eu consigo ver que tá sempre mexendo né. A molécula tá sempre, nunca tá ali parada né. Tipo muitos alunos quando tu representa no papel pensam que a estrutura tipo orgânica principalmente é aquilo ali. Tipo é aquela ligação, aquela estrutura, por exemplo, ah metano, $\text{CH}_3 \text{CH}_3$ é aquilo lá sabe?

Prof: Eu não to conseguindo entender mais ou menos assim se mexendo. No programa tu viu se mexendo?

Estudante: Oi?

Prof: Tu viu ela se mexendo no programa.

Estudante: Sim. Tem um botãozinho que ela fica se movimentando.

Prof: Ah tá certo. Legal. Muito interessante. Esse eu não me lembrava. Tá ótimo então Dani.

Estudante: Tu pode girar ela sozinha

Prof: Huhum.

Estudante: Tu pode colocar ela pra girar daí tu vai vendo. Todos os ângulos possíveis assim. Todos os movimentos..

Prof: E quando tu fala isso, tu consegue enxergar alguma delas?

Estudante: Não, principalmente tipo a ligação do hidrogênio, tipo um hidrogênio que tem três, um carbono que tem três hidrogênios né. Tipo vai girando daí lá atrás fica escondido, dois pra frente, daí aparece só um assim. Só uma bolinha no meio assim que tá pra frente as outras duas estão lá atrás, isso bem legal.

Prof: E pra essas espécies, se eu perguntar se tu consegue visualizar isso. Tu consegue fazer isso?

Estudante: Girando?

Prof: Sim, essas aqui.

Estudante: Sim, huhum. Consigo.

Prof: Tu consegue visualizar então ela girando? Mesmo não sendo elas as que tu trabalhou com aquele programa tu consegue montar elas?

Estudante: Sim.

Prof: Tá. Legal.

Estudante: Principalmente, tipo, que nem eu te falei antes, essa parte de diferenciar os átomos, tipo que tem eletronegatividade deferente e as ligações de hidrogênio

Prof: Huhum.

Estudante: Que são as que tipo mais me chamou atenção no programa assim, que eu via mexendo.

Prof: Huhum.

Estudante: Que são várias né?

Prof: Sim, sim. Aí tu consegue enxergar agora vários átomos assim.

Estudante: Tipo aqui tem duas ligações, eu consigo ver elas girando.

Prof: Ah tá.

Estudante: Antes eu não conseguia, tipo era mais...

Prof: Tipo o CH_3 que tu falou pra mim, foi isso?

Estudante: É.

Prof: Tá. Que ótimo. Muito obrigado.

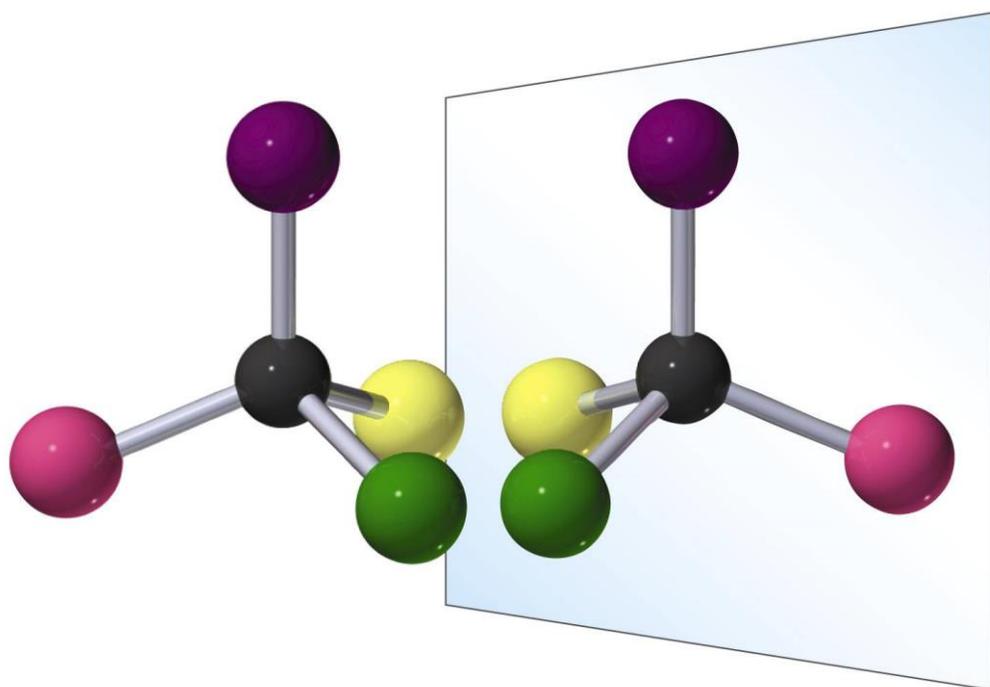
APENDICE D – UNIDADE DE ENSINO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE QUÍMICA

ÁREA DE EDUCAÇÃO QUÍMICA

Explorando a Estereoquímica: história, contexto e visualização



Daniele Trajano Raupp

José Cláudio Del Pino

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	177
2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ESTEREOQUÍMICA	178
2.1 Estrutura molecular	178
2.3 Classificação dos Estereoisômeros	181
2.4 Nomenclatura de diastereoisômeros e enantiômeros	184
Questões pra discussão	186
3 UMA BREVE HISTÓRIA DA ESTEREOQUÍMICA	188
Questões para discussão.....	195
4 A ESTEREOQUÍMICA NO NOSSO COTIDIANO	197
4.1 Organismos vivos e a quiralidade	197
4.2 Os sabores e aromas dos isômeros	198
4.3 A estereoisomeria relacionada à visão.....	199
4.5 Ácidos orgânicos e suas distintas propriedades.....	201
Questões para discussão.....	202
5 A ESTEREOQUÍMICA DOS FÁRMACOS	204
5.1 O caso da Talidomida	204
5.2 A estereoquímica dos anestésicos.....	205
5.3 O poder do Resveratrol contra o envelhecimento	207
5.4 Racematos e enantiômeros puros.....	207
Questões para discussão.....	208
6 ESTRUTURA 3D E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES DAS SUBSTÂNCIAS.....	209
6.1 Software para visualização de estruturas tridimensionais	209
Atividades	212
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	215

1 INTRODUÇÃO

Conceitos relativos ao campo conceitual da Estereoquímica, tais como isomeria, geometria molecular, estruturas tridimensionais, carbono assimétrico, configuração absoluta, mistura racêmica e quiralidade, são abordados nas disciplinas de Química Orgânica tanto no Ensino Médio, quanto no Ensino Superior sendo que, no Ensino Superior o tema estereoquímica não é um objeto de estudo apenas nos cursos de Química, mas também nos cursos de Biologia, Farmácia, Biomedicina, Bioquímica entre outros. E apesar desse conteúdo ser normalmente ministrado após análise conformacional, ligações químicas e geometria molecular, alguns estudantes não possuem uma base consolidada da estrutura química em três dimensões (RAUPP, 2013).

A complexidade da resolução de problemas desse nível (BAKER; GEORGE; HARDING, 1998) justifica o fato de que para alguns estudantes o aprendizado de estereoquímica pode ser difícil e algumas vezes traumático (KURBANOGU; TASKESENLIGIL; SOZBILIR, 2006). Como resultado dessa dificuldade, o estudo da estereoquímica pode ser de certa forma, um tempo de frustração lamentável para os estudantes (EVANS, 1963).

A dificuldade em desenvolver a compreensão conceitual pode estar associada não só à dificuldade em entender e assimilar os conceitos químicos (CARDOSO; COLINVAUX, 2000) como também ao fato dos estudantes compreenderem fenômenos não relacionados ao seu cotidiano (GABEL, 1993). Como o entendimento da estereoquímica é baseado em conceitos científicos, essa pode ser uma das causas das dificuldades de aprendizagem frequentemente relatadas.

A compreensão de conceitos em Ciências exige mais do que observação e experimentação. Exige a utilização de uma grande variedade de experiências de aprendizagem - entre elas a utilização de estudos de caso históricos (HODSON, 1998). Por conta disso, essa unidade de ensino apresenta uma proposta que engloba breve histórico do desenvolvimento da estereoquímica, algumas das possíveis relações com o cotidiano além de estratégias para o desenvolvimento das habilidades tridimensionais.

Bons estudos!

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ESTEREOQUÍMICA

A estereoquímica (do grego *stereo*, sólido) estuda as características tridimensionais da molécula. Para compreender os conceitos relacionados à estereoquímica é necessário ter o domínio de conceitos como por exemplo, estrutura molecular, geometria molecular, estereoisomeria, quiralidade além de compreender aspectos relativos à nomenclatura desses compostos. A seguir serão apresentados alguns conceitos fundamentais para o estudo desse campo.

2.1 Estrutura molecular

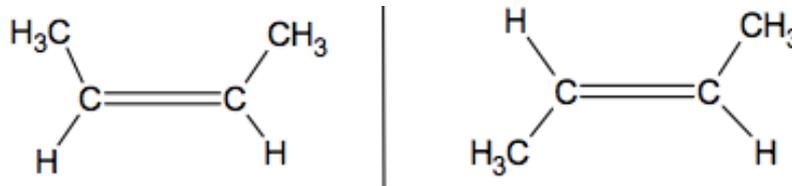
Há quatro aspectos gerais que definem a estrutura molecular: a *constituição*, a *conectividade*, a *configuração* e a *conformação* (JUARISTI; STEFANI, 2012), sendo importante distinguir esses quatro termos:

a) A *constituição* refere-se à classe de átomos que fazem parte da molécula. Por exemplo, 2 carbonos, 6 hidrogênios e 1 oxigênio (C_2H_6O) formam a molécula de etanol.

b) A *conectividade* descreve a ordem como os átomos estão unidos entre si em uma molécula, sem se preocupar com diferentes arranjos de ordem espacial. Temos como exemplos o caso do etanol e do éter metílico, ambos possuem a mesma constituição, mas conectividade diferente (etanol: CH_3-CH_2-OH e éter metílico: CH_3-O-CH_3).

c) A *configuração* refere-se o modo como estão conectados os constituintes da molécula. A configuração de uma cadeia somente pode ser alterada pela quebra de ligações químicas. A configuração define moléculas que são estereoisômeros. Um exemplo são as olefinas di-substituídas ou polissubstituídas. Como os isômeros *cis* e *trans*-but-2-eno, que possuem fórmula molecular C_4H_8 (Figura 1). A configuração indica se a distribuição dos substituintes está do mesmo lado (*cis*) ou em lados opostos (*trans*) da ligação dupla.

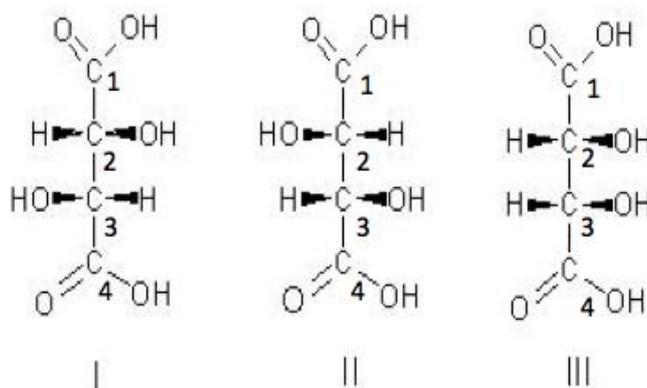
Figura 36: *cis* e *trans*-but-2-eno



d) A *conformação* refere-se à orientação no espaço devido a giros em torno da ligação simples. Diferentes conformações de uma molécula são típicas de rotações em torno de ligações simples, mas que uma barreira rotacional emerge devido a repulsões entre grupos químicos substituintes que se aproximam/afastam durante esta rotação. De uma maneira mais simples, se retirarmos os substituintes ligados a átomos de diferentes conformações, a barreira desaparece por ser uma

ligação simples; e esta barreira não desaparece se estivermos falando de diferentes configurações (IUPAC,1997). A ácido tartárico (Figura 2) é um exemplo, sua fórmula molecular $C_4H_6O_6$.

Figura 37 – Isômeros do ácido tartárico



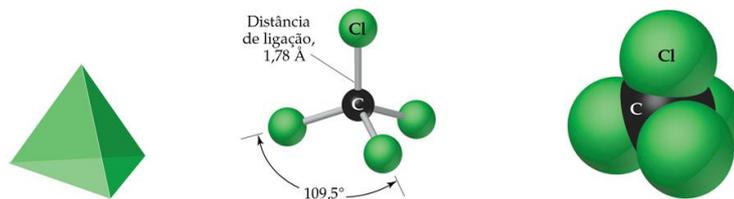
Na estrutura I, os substituintes OH estão em lados opostos (e os ligantes H também); estrutura II é a imagem especular da estrutura I. Na estrutura III, esses substituintes estão do mesmo lado. Essa mudança de orientação no espaço, ocorre devido a giros na ligação simples entre os carbonos 2 e 3 da molécula.

A compreensão desses aspectos permitiu o desenvolvimento de representações de fórmulas químicas (como as projeções de Fischer e Newman) que, com o passar dos anos, passaram a representar além da conectividade, a geometria molecular que é a forma como os átomos que constituíam a molécula estavam distribuídos no espaço e de que forma se ligavam uns aos outros (MORTIMER, 1996).

2.2 Geometria Molecular

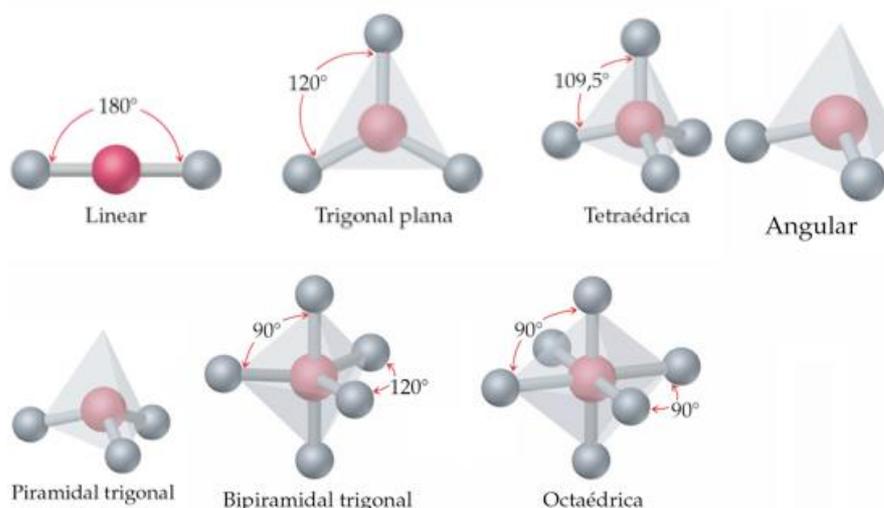
Em se tratando da organização espacial a geometria molecular é o estudo de como os átomos estão distribuídos espacialmente em uma molécula. Essa organização estará relacionada com o número de pares ligantes e número de pares não ligantes ao redor do átomo central de acordo com a Teoria de repulsão de pares de elétrons no nível de Valência (TVSEPR).

A Figura 3 representa a geometria tetraédrica do tetracloreto de carbono. Os quatro cloros em torno do carbono formando um ângulo de $109,5^\circ$ resultando em um tetraedro (*pirâmide triangular*).

Figura 38 - Representações da molécula CCl₄

A geometria molecular é capaz de condicionar as propriedades físicas e químicas e as próprias reações em que as substâncias participam como no caso do isomerismo, esse fenômeno permite que se obtenham propriedades físicas e químicas diferentes, uma vez que os átomos estão dispostos de maneira diferente (CORREIA, 2005).

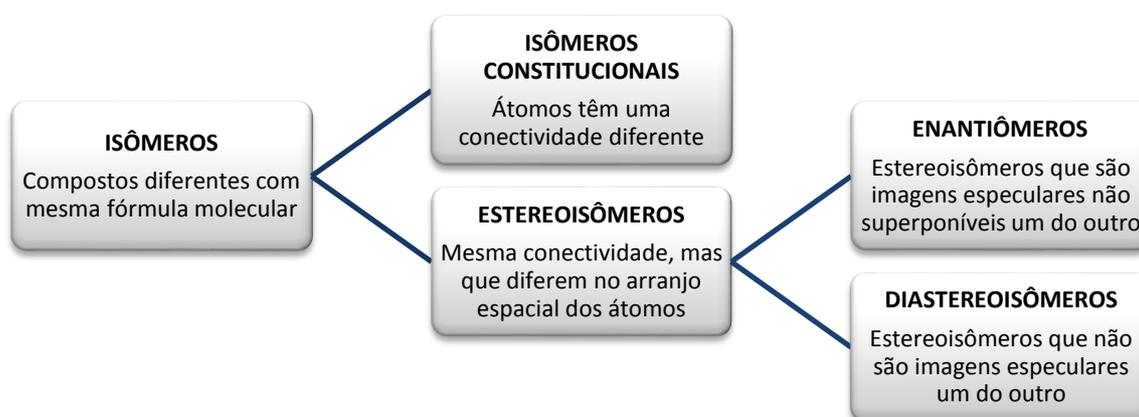
O que determina a forma espacial de uma molécula são seus ângulos de ligação. Para prevermos a forma molecular, consideramos que os elétrons de valência se repelem e, conseqüentemente, a molécula assume qualquer geometria 3D que minimize essa repulsão. É importante verificar que quando determinamos a geometria ao redor do átomo central, consideramos todos os elétrons (pares ligantes e não ligantes). Já quando determinamos a geometria molecular, consideramos somente os pares ligantes na posição dos átomos. A Figura 4 apresenta diferentes representações dos principais tipos de geometria e seus respectivos ângulos de ligação

Figura 39 - Representação de alguns tipos de geometria

O arranjo tridimensional dos átomos de uma molécula, é capaz de condicionar as propriedades físicas e químicas e as próprias reações em que as substâncias participam. Por conta disso os estereoisômeros são isômeros que possuem constituição idêntica, mas que diferem no arranjo de seus átomos no espaço e por isso possuem propriedades distintas.

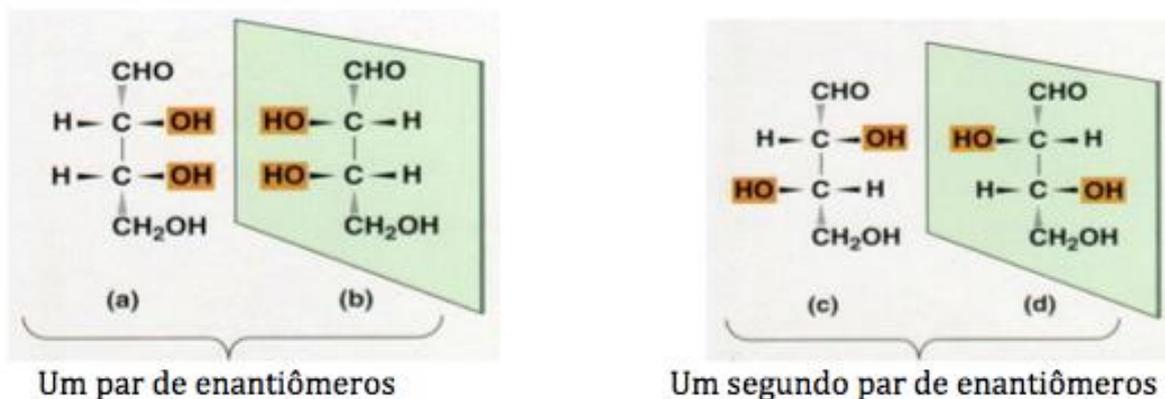
2.3 Classificação dos Estereoisômeros

A estereoquímica (do grego *stereo*, sólido) estuda as características tridimensionais da molécula. Segundo a IUPAC (1997) o estereoisomerismo é um tipo específico de isomerismo e ocorre devido a diferenças no arranjo espacial dos átomos sem eventuais diferenças de conectividade ou multiplicidade de ligação entre os isômeros. Assim os isômeros podem ser classificados conforme suas características, de acordo com o esquema a seguir.



Existem diversos tipos de estereoisômeros classificados como enantiômeros e diastereoisômeros. Quando duas moléculas são imagens especulares uma da outra e não-sobreponíveis são denominadas enantiômeros. Quando dois estereoisômeros não são relacionados com imagens especulares, são denominadas diastereoisômeros. Ao analisar os estereoisômeros do ácido tartárico (Figura 5) pode-se perceber essa diferença.

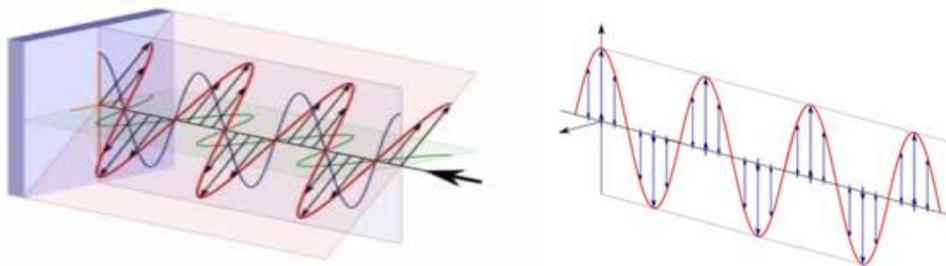
Figura 40 - Estereoisômeros e diastereoisômeros



As estruturas a e b, bem como as estruturas b e c são enantiômeros, pois são imagens especulares uma da outra e não sobreponíveis. Já as estruturas a e c, a e d, b e c e por fim b e d são diastereoisômeros.

Os diastereoisômeros são caracterizados por diferenças nas propriedades físicas e por algumas diferenças de comportamento químico, ao contrário dos enantiômeros que possuem propriedades químicas e físicas idênticas, com exceção do comportamento frente à luz polarizada eFigura 41 - Oscilação da luz não polarizada e polarizada velocidade de reação com substâncias quirais.

Para compreender o comportamento dos estereoisômeros frente a luz polarizada, é preciso diferenciar os tipos de luz e sua oscilação (Figura 6). A luz é onda eletromagnética. Chamamos de onda eletromagnética o tipo de onda formada por um campo elétrico e outro magnético que são perpendiculares entre si e que se deslocam em uma direção perpendicular às duas primeiras. Por esta característica, a onda eletromagnética é dita onda transversal. A luz não polarizada é a luz branca (luz solar e de lâmpadas incandescentes), que quando emitida, suas ondas eletromagnéticas oscilam em todas as direções, ou seja em todos os planos. A luz polarizada é aquela que varia em apenas um plano (BRUYCE, 2006).



A luz polarizada pode ser obtida passando a luz natural por equipamento denominado polarizador que possui uma lente polarizadora ou um prisma de Nicol. O cientista Jean Baptiste Biot, no ano de 1815 verificou que certas substâncias giravam o plano de polarização no sentido horário e outras no sentido anti-horário, e que essa habilidade estaria relacionada com a assimetria molecular. Se a luz é desviada para a direita, isto é, no sentido horário, diz-se que a rotação é positiva (+) e a substância é denominada desxtorrotatória. Se a luz é desviada no sentido anti-horário (-) é denominada levorrotatória (do latim *dexter*, direita e *leavus*, esquerda. Se o plano não é desviado significa que o composto analisado é opticamente inativo. Pode ser uma mistura equimolar de enantiômeros (50% do dextrogiro e 50% do levogiro) ou uma substância que não possui atividade óptica (MCMURRY, 2009). Os sinais (+) e (-), por vezes eram substituídos pelas letras *d* e *l*, porém o uso desses termos é considerado obsoleto e sua utilização não é recomendada (IUPAC, 2014).

Uma mistura equimolar de um par de enantiômeros é denominada racemato. Racematos não apresentam atividade óptica, pois enquanto uma molécula gira o plano para a direita outra molécula que é sua imagem especular, gira para a esquerda. Como resultado o plano de polarização permanece inalterado (BRUYCE, 2006).

Os racematos podem cristalizar na forma de conglomerados. De acordo com Guimarães e colaboradores (2009), um conglomerado é constituído por uma mistura mecânica de quantidades equimolares de cristais enantioméricos, uma mistura mecânica equimolar¹¹ de cada um dos cristais que contém somente um dos dois enantiômeros presentes na forma de um racemato. O processo da sua formação na cristalização de um racemato é chamado de resolução espontânea, uma vez que os enantiômeros puros ou quase puros podem geralmente ser obtidos a partir do conglomerado.

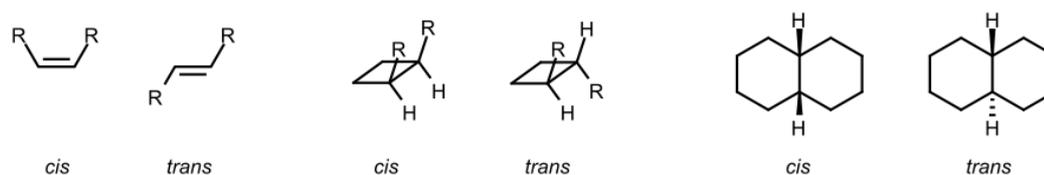
¹¹ Cabe ressaltar que o termo mistura racêmica é considerado obsoleto pela IUPAC (2014) pois o termo é confuso, uma vez que tem sido usado como um sinônimo para tanto racemato e conglomerado racêmico.

Um estereoisômeros pode ser ainda um composto meso. Um composto meso que possui dois carbonos assimétricos com ligantes iguais e um dos carbonos desvia a luz polarizada de um ângulo μ para a direita e o outro C desvia a luz polarizada de um ângulo μ para a esquerda, portanto o desvio final será nulo.

2.4 Nomenclatura de diastereoisômeros e enantiômeros

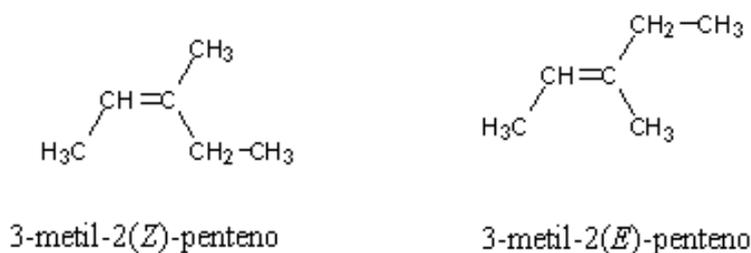
Estereoisômeros que não são imagens especulares um do outro são denominados diastereoisômeros. Tradicionalmente os dois isômeros são denominados *cis* e *trans* (do latim *cis* = próximo a e *trans* = através de), que diferem nas posições dos átomos (ou grupos) em relação a um plano de referência: considerando que os substituintes de cada um dos carbonos da ligação dupla, ou em cadeias fechadas, se encontrem do mesmo lado ou não (Figura 7).

Figura 42 – Alguns exemplos de diastereoisômeros



Algumas vezes os termos *cis* e *trans* pode ser ambíguo e, portanto, têm sido amplamente substituído pelos termos *E*, *Z* (Do alemão *Z*: zusammen = juntos *E*: entgegen = opostos) que é uma convenção para compor a nomenclatura dos compostos orgânicos (IUPAC, 2014). Na Figura 8 os isômeros do 3-metil-2-penteno.

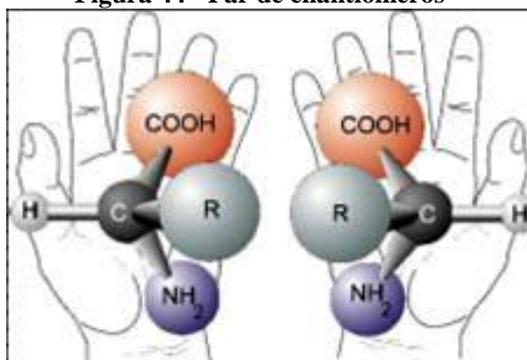
Figura 43 - Exemplo de nomenclatura E,Z



O composto que apresentar, do mesmo lado do plano imaginário, os ligantes dos carbonos da dupla, com os maiores números atômicos será denominado *Z*. O outro composto será denominado *E*. Já para identificar compostos enantioméricos é fundamental saber identificar um composto quiral com imagens especulares não-sobreponíveis. O conceito de quiral é associado a um átomo de carbono ligado a quatro substituintes diferentes. Na química orgânica a quiralidade molecular está principalmente associada a estereoquímica tetraédrica do carbono com hibridização sp^3 (MCMURRY, 2005)

Um objeto quiral possui a propriedade da lateralidade sendo um objeto que não pode ser colocado sobre a sua imagem especular de forma que todas as partes coincidam. Em outras palavras, um objeto quiral não é superponível à sua imagem especular (Figura 9). As moléculas que possuem essa propriedade são denominadas enantiômeros (do grego *enantio* = oposto). Em moléculas que apresentam mais de um carbono assimétrico, podemos calcular o número de estereoisômeros por 2^n , onde n é o número de carbonos assimétricos da molécula.

Figura 44 - Par de enantiômeros



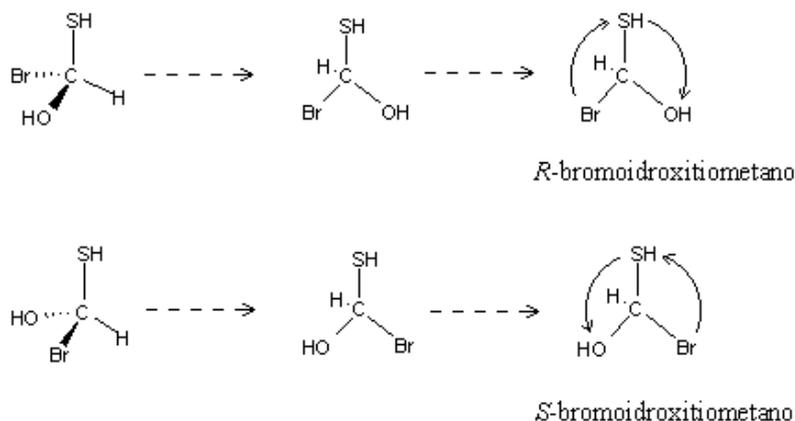
Ser superponível é diferente de ser sobreponível. Dois objetos podem ser sobrepostos colocando-se um objeto em cima do outro, sejam objetos iguais ou não. Superpor dois objetos significa que todas as partes do objeto devem coincidir. A condição de serem superponíveis deve ser satisfeita para que as duas coisas sejam idênticas. Uma molécula quiral e sua imagem especular são denominadas um par de enantiômeros. As moléculas que são superponíveis com sua imagem especular são aquirais e portanto não são substâncias enantioméricas.

Esses enantiômeros possuem um sistema de nomenclatura, denominado sistema *R,S*. A especificação da configuração absoluta de um centro quiral pode ser feita sem ambiguidade utilizando o sistema de Cahn-Ingold-Prelog. Assim como na convenção *E/Z*, atribui-se a cada

substituinte de um centro quiral uma prioridade. A prioridade está relacionada dos átomos está relacionada com o número atômico dos átomos diretamente ligados ao carbono quiral, quanto maior o número atômico maior a prioridade ($I > Br > Cl > S$). No caso de haver grupos ligados ao carbono quiral, são considerados os estados de substituição ($-CH_2I > -CH_2Br > -CH_2Cl > -CH_2OH > CH_2CH_3 > CH_3$).

O passo seguinte é orientar a molécula de forma a que o substituinte de menor prioridade aponte no sentido oposto ao observador. Se os outros três substituintes estiverem distribuídos de forma a que o percurso do substituinte de maior prioridade para o de menor prioridade for no sentido dos ponteiros do relógio a configuração denomina-se *R* (do latim *rectus*, que significa "direita"). Se eles estiverem dispostos no sentido oposto ao dos ponteiros do relógio a configuração denomina-se *S* (do latim *sinister*, que significa "esquerda"). Como por exemplo os isômeros do bromidroxitiometano (Figura 10).

Figura 45 - Nomenclatura *R,S*



Os símbolos (+) e (-), não devem ser confundidos com *R* e *S*, pois (+) e (-) indicam a direção do giro do plano de polarização por um substância opticamente ativa, enquanto *R* e *S*, indicam o arranjo dos grupos dos átomos em torno do carbono assimétrico. Substâncias com configuração *R* podem ser (+) e outras (-) com mesma configuração. (BRUYCE, 2006).

Questões pra discussão

1. Represente três isômeros constitucionais a partir da fórmula C_3H_8O .
2. Quantos isômeros constitucionais você pode representar para a fórmula molecular $C_4H_{10}O$?

3. Considere as fórmulas químicas indicadas e represente estruturas para possíveis estereoisômeros, nomeando-os com a utilização do sistema *E, Z*.



4. A quiralidade é um atributo geométrico, um objeto que não pode ser sobreposto à sua imagem especular é quiral, ao passo que um objeto aquiral é aquele em que a sua imagem especular pode ser sobreposta ao objeto original. Classifique cada um dos seguintes objetos como sendo quirais ou aquirais:

a) Chave de fenda

b) Martelo

c) Corpo humano

d) Erlenmeyer

e) Parafuso

f) Garrafa pet

5. Para os compostos orgânicos relacionados abaixo, identifique o número de estereoisômeros opticamente ativos, o número de racematos e se há ocorrência de isômero meso.

a) 2-metilbutanal

b) 3-cloro-2-metilpentano

c) 2,3- dimetilbutanodial

d) ácido 2,3,4-tricloropentanóico

5. Substâncias cíclicas também podem apresentar isomeria *cis* e *trans*. Represente os isômeros para as seguintes substâncias:

a) 1-etil-3-metilciclobutano

b) 1,2-dibromobutano

6. Relacione os substituintes em cada um dos conjuntos em ordem decrescente de prioridade.

a) $-Cl$, $-OH$, $-SH$, $-H$

b) $-CH_3$, $-CH_2Br$, $-CH_2Cl$, $-CH_2OH$

c) $-H$, $-OH$, $-CHO$, $-CH_3$

d) $-CH(CH_3)_2$, $-C(CH_3)_3$, $-H$, $-CH=CH_3$

7. Construa os isômeros do bromobutano e do 3-cloro-hexano e nomeie de acordo com o sist

3 UMA BREVE HISTÓRIA DA ESTEREOQUÍMICA

A Química Orgânica tornou-se uma especialidade da Química por volta de 1850. Contudo, o termo “orgânico” surgiu anos antes, em 1807, quando Berzelius denominou os compostos derivados de organismos vivos como orgânicos, e inorgânicos os compostos não derivados de coisas vivas (CROSLAND, 1962). A concepção original de química orgânica mudou radicalmente durante o ano de 1830, quando passou a ser considerada como a ciência que tem seu foco nos compostos que contêm carbono, sua reatividade e sua ocorrência tanto em compostos naturais quanto artificiais. A partir de então a química orgânica passou a ser uma ciência cada vez mais experimental (RAMBERG, 2005).

Um episódio na história do desenvolvimento dessa área merece destaque: a ideia de que a fórmula estrutural não representava o arranjo espacial dos átomos na molécula foi um escândalo na comunidade científica no início do século XIX. No ano de 1872, o professor alemão Johannes Wislicenus, um dos maiores químicos da sua geração e diretor de três importantes laboratórios químicos (Zürich na Suíça, Würzburg e Leipzig, na Alemanha) declarou que: “Nossas fórmulas (fórmulas estruturais) são figuras no plano, no entanto moléculas são corpos, por exemplo [uma fórmula estrutural] nos fornece a sequência de átomos mas não significa o arranjo tridimensional dos átomos da molécula no espaço.” (CROSLAND, 1962). Ele era uma exceção na comunidade química, que na época era totalmente indiferente e hostil a teoria de Van't Hoff e sua hipótese do carbono tetraédrico assimétrico.

As origens e transformações do conceito de “química estrutural” de uma molécula para “arranjo espacial” dos átomos em uma molécula foi a última etapa fundamental para o desenvolvimento da química tradicional do século XIX. As pesquisas que contribuíram para essa afirmação iniciaram décadas antes. Em 1820, Liebig orientado por Gay-Lussac (Figura 11) e Wöhler orientado por Berzelius (Figura 12) trabalhavam em seus respectivos laboratórios, quando dois compostos diferentes foram sintetizados e apresentaram a mesma composição. O composto sintetizado por Liebig era um reagente explosivo, que o mesmo determinou ser fulminato de prata (AgCNO), enquanto o composto sintetizado por Wöhler o foi o cianato de prata (AgOCN).

O paradigma estabelecido até então, defendia que existia uma relação estrita entre a composição de uma substância e suas propriedades. Sendo assim, a conclusão óbvia era que um dos dois resultados tinha de estar, necessariamente, errado. Na ocasião, Liebig acabou acusando Wöhler de que eram seus resultados que estavam incorretos. Wöhler, certo de seus

resultados, enviou uma amostra de seu composto ao seu concorrente. Depois de analisar a amostra, Liebig declarou abertamente que cometera um erro ao fazer tal acusação e que Wöhler também estava correto. Após esse evento, iniciou-se grande amizade e colaboração científica entre os dois cientistas (RAUPP, 2010; CROSLAND, 1962).

Figura 46- Liebig e seu orientador Gay-Lussac

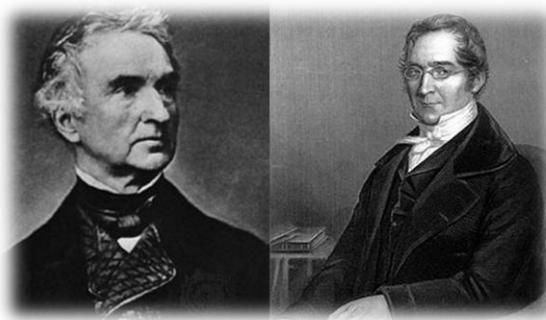


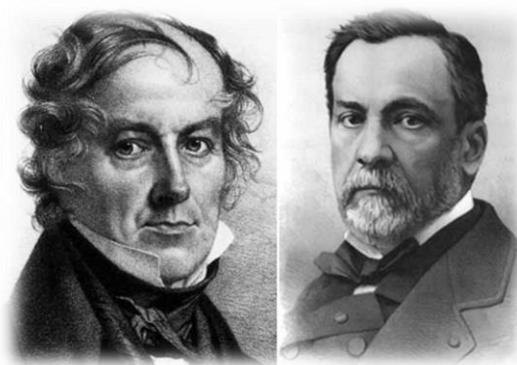
Figura 47- Wöhler e seu orientador Berzelius



Mas a explicação de como dois compostos com propriedades distintas tinham a mesma composição ainda não havia sido esclarecida. Foi, então, que Berzelius propôs o conceito de Isômero, e que era aceitável dentro da teoria atômica vigente: a teoria de Dalton. Sua explicação de isomeria envolvia diferenças de conectividade, atualmente conhecida como isomeria constitucional, na qual compostos de mesma fórmula química, apresentam átomos com uma conectividade diferente. Até então, muito pouco era conhecido sobre diferentes arranjos de ordem espacial nas moléculas. Com o passar do tempo, a isomeria se tornou um conceito mais complexo, pois compostos com a mesma conectividade mostravam também propriedades diferentes. Estas moléculas só poderiam ser compreendidas dentro da perspectiva da Estereoquímica – o estudo do arranjo espacial de átomos em uma molécula, associado ao conceito de configuração, e a explicação de diferenças entre algumas moléculas (ESTEBAN, 2008).

Considera-se, porém, que o estudo da estereoquímica tem sua origem no trabalho de investigação do químico francês Jean Baptiste Biot (Figura 13 à esquerda) sobre substâncias que eram capazes de provocar um ângulo de rotação no plano de polarização. Ao investigar a natureza da luz plano-polarizada, Biot constatou que algumas moléculas giravam a luz polarizada para a esquerda, no sentido anti-horário (levógiras) enquanto outras moléculas giravam a luz polarizada para a direita, no sentido horário (dextrógiras). Ele também notou que, nem todas as substâncias apresentavam esse comportamento, mas as que apresentam, foram denominados como opticamente ativas (MCMURRY, 2005).

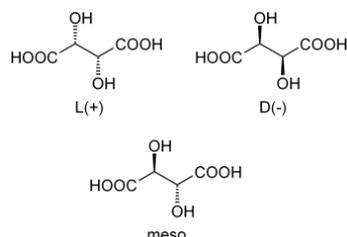
Figura 48- Biot e seu aluno Louis Pasteur



Mas muito pouco foi feito após essa descoberta até que Louis Pasteur (Figura 3 à direita) bacharel em matemática e licenciado em ciências iniciou em 1846 seus estudos para obter o título de doutor em ciência na Escola Normal Superior de Paris. Interessado no estudo da cristalografia e aluno de Biot passou a estudar o novo fenômeno:

Sua tese de doutorado, defendida em 1847, constava de duas partes: uma em química, sobre a capacidade de saturação do ácido arsenioso, e outra em física, intitulada “Estudo dos fenômenos relativos à polarização rotatória dos líquidos” - sendo esta última, na verdade, segundo o próprio Pasteur, um programa de pesquisa para estudar, a partir de uma sugestão de Biot, a causa do estranho fenômeno dos ácidos tartárico e paratartárico (GOUVEIA-MATOS, 1997, p.20).

Conhecido desde a antiguidade sob a forma do seu sal ácido de potássio, obtido como um depósito a partir de sumo de uva fermentado, o ácido tartárico (Figura 14) se deposita nos barris, no processo de envelhecimento do vinho. Ele observou que havia dois tipos de estrutura cristalina, e com muita paciência, uma lupa e uma pinça, Pasteur separou os cristais um a um, e os agrupou em dois montes e preparou uma solução com cada um deles (SHELDON, 1993).

Figura 14 - Isômeros do ácido tartárico

Ao analisar as soluções no polarímetro, Pasteur notou que uma das soluções desviavam o plano da luz polarizada para o lado direito enquanto a outra solução desviava para a esquerda, notou também que a mistura de soluções em iguais quantidades não desviava a luz. Pasteur continuou sua pesquisa e desenvolveu métodos de separação de isômeros. Seus experimentos com os tartaratos (Quadro 1), sugeriram uma estreita correlação entre estrutura cristalina, configuração e atividade ótica.

Quadro 10 - Isômeros do ácido tartárico e suas propriedades físicas.

Ácido Tartárico	Ponto de fusão (°C)	Solubilidade em água (g/100 mL a 25°C)	Rotação ótica (α)
(2R,3R)	170	147	+ 11,98
(2S,3S)	170	147	- 11,98
meso (2R,3S)	140	120	zero
Racemato	205	25	zero

Pasteur tentou relacionar o desvio do plano da luz polarizada e o arranjo espacial das moléculas de carbono, sugerindo que os substituintes ao redor do átomo de carbono deveriam ter, provavelmente, um arranjo tetraédrico e assimétrico “Os experimentos com os tartaratos claramente sugeriam uma estreita correlação entre configuração molecular, atividade ótica e estrutura cristalina” (BAGATIN ET AL, 2005, P.36). Considera-se que “Essas observações estabeleceram as bases para o surgimento da moderna estereoquímica” (COELHO, 2001, p. 24), mas ainda assim a comunidade científica não admitia as ideias de Pasteur.

Mesmo tendo descoberto os enantiômeros e um método de separá-los, seus estudos acabaram sendo esquecidos. Somente 25 anos mais tarde, suas ideias acerca do carbono assimétrico foram confirmadas por dois químicos, Jacobus Henricus van't Hoff e Joseph-Achille Le Bel. Trabalhando independentemente, eles deram continuidade a essa ideia e propuseram que os quatro substituintes do carbono se orientam no espaço, cada um ocupando

um vértice de um tetraedro, com o carbono no centro. Esse arranjo no espaço possibilitaria a existência de moléculas cuja única diferença seria a orientação dos seus substituintes no espaço (SOLOMONS; FRYHLE, 2001). Com isso foi criado o conceito de carbono assimétrico.

Se tivéssemos ao redor do carbono quatro substituintes diferentes, entre todos os arranjos possíveis, somente dois e não mais que dois tetraedros seriam diferentes entre si. Um desses tetraedros é a imagem refletida no espelho do outro, sendo impossível fazer coincidir todos os substituintes, se uma estrutura for sobreposta à outra (COELHO, 2001, p.24).

Até então, pouco era conhecido sobre diferentes arranjos de ordem espacial nas moléculas. Mas, em publicação em setembro de 1874, van't Hoff provou que o arranjo espacial de quatro grupos em torno de um átomo de carbono central era tetraédrico e propôs o termo *quiral* ao carbono assimétrico ligado a quatro diferentes grupos. Essa quiralidade estaria associada à atividade óptica. Dois meses mais tarde, em novembro de 1874 Le Bel publicou propostas muito próximas daquelas feitas por van't Hoff (BARBOSA, 2011). Nesse ano que foi um dos mais famosos da história da química, o conceito de estereoquímica passou a ser utilizado, tornando-se praticamente inconcebível pensar em química moderna sem a ideia do arranjo espacial.

Ainda assim, a ideia de que os átomos se organizavam no espaço em uma molécula permanecia sendo considerado um devaneio. Em 1877, um dos mais eminentes químicos orgânicos da época, Hermann Kolbe (Figura 15) da Universidade de Leipzig, na Alemanha, criticou fortemente as ideias de van't Hoff sobre o arranjo espacial dos átomos. Sobre isso Kolbe escreveu:

Há pouco tempo, expressei a opinião de que a falta de educação geral e de um treinamento completo em química foi uma das causas da deterioração da pesquisa de química em Alemanha... Aqueles que pensam que minhas preocupações são exageradas leiam, por favor, se puderem, um recente memorial feito por um certo van't Hoff sobre "Os arranjos dos Átomos no Espaço", um preparado completamente com a expansão de uma fantasia infantil... Este Dr. J.H. van't Hoff, empregado por uma Escola Veterinária em Utrecht, não tem, ao que parece, sequer gosto pela pesquisa de química acurada. Ele acha mais conveniente cavalgar o seu Pégaso (evidentemente emprestado dos estábulos da Escola Veterinária) e anunciar como, no seu audacioso voo para o Monte Parnaso, viu os átomos arranjados no espaço (SOLOMONS; FRYHLE, 2001).

Figura 49 - Hermam Kolbe



Apesar das críticas, anos depois dessa manifestação de Kolbe, já se acumulavam muitas evidências que sustentavam a “fantasia infantil” de van’t Hoff. As publicações de van’t Hoff e Le Bel (Figura 16) marcaram uma importante virada no campo de estudo relacionado com as estruturas das moléculas em três dimensões. Foi a partir de então que a representação espacial passou a ser utilizada (DIAS, 2009), e passou a representar muito mais do que a composição das moléculas:

A partir da segunda metade do século XIX, os químicos começaram a usar as fórmulas como uma representação espacial da molécula, que poderia explicar várias propriedades das substâncias. As fórmulas químicas passavam a representar não só as quantidades combinadas, mas também a realidade molecular, permitindo antever como os átomos que constituíam a molécula estavam distribuídos no espaço e de que forma se ligavam uns aos outros. (MORTIMER, 1996, p.19).

Figura 16 - van't Hoff e Le bel



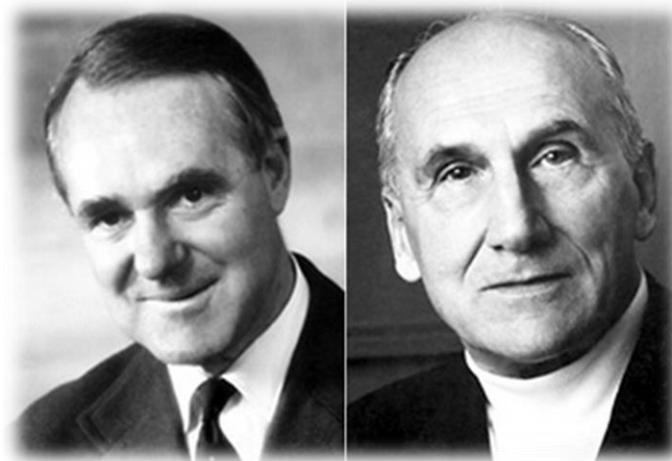
O início da química estrutural ocorreu com a descoberta da isomeria, abrindo caminho para a representação de compostos por suas fórmulas estruturais e contribuindo para explicar a abundância dos compostos orgânicos e tornando a Química Orgânica mais clara (ESTEBAN, 2008).

Sendo assim não basta apenas que os átomos estejam ligados em sua ordem correta, é preciso que ocupem suas corretas posições no espaço tridimensional, pois um posicionamento errôneo pode criar uma química ineficaz, ou um produto químico que pode ter efeitos indesejados; é como “usar a chave errada para abrir uma fechadura.” (PILLI, 2001).

O estudo da estereoquímica também possibilitou a compreensão de como um pequeno número de elementos químicos é capaz de formar os milhões de compostos químicos, compostos que, em sua grande maioria pertencem ao domínio da Química Orgânica. Parte dessa diversidade deve-se à isomeria, caracterizada pela existência de duas ou mais substâncias que apresentam fórmulas moleculares idênticas, mas que diferem em suas fórmulas estruturais ou espaciais., e conseqüentemente em suas propriedades, efeitos fisiológicos etc. Algumas diferenças são de ordem macroscópica, como os diferentes aromas e sabores atribuídos aos estereoisômeros.

O estudo acerca da estereoquímica de uma molécula, mostra como, ao longo da história, foi possível entender a estrutura e comportamento das substâncias, daí sua importância para o desenvolvimento da Ciência, reconhecidos em Prêmios Nobel de Química foram concedidos à pesquisadores da área da estereoquímica. Em 1975, por exemplo, o Prêmio foi dividido igualmente entre o croata John Warcup Cornforth "por seu trabalho na estereoquímica de reações catalisadas por enzimas" e Vladimir Prelog "(Figura 15) por sua pesquisa na estereoquímica de moléculas e reações orgânicas" (NOBEL PRIZE, 2009).

Figura 50: John Warcup Cornforth e Vladimir Prelog



Já o prêmio de 2001 (NOBEL PRIZE, 2001) foi concedido aos químicos estadunidenses William Knowles e Barry Sharpless, e ao químico japonês Ryoji Noyori (FIGURA 16) em

função do “Desenvolvimento de catalisadores quirais que permitiram a síntese de moléculas oticamente ativas”.

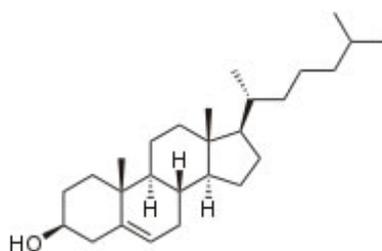
Figura 51: William Knowles , Ryoji Noyori e Barry Sharpless



Questões para discussão

- Qual episódio da história da estereoquímica mais chamou sua atenção?
- Cientistas, diante da síntese de compostos diferentes que apresentavam a mesma composição, os cientistas acreditavam que um dos resultados estava incorreto. Mais tarde descobriram que se tratava de compostos isômeros. Analise os seguintes compostos, represente suas estruturas determine quais apresentarão enantiômeros e quais apresentarão diastereoisômeros.

a) 2- bromobutano	d) 4-octanol
b) 1,3 dibromociclobutano	e) 2- butanol
c) 2-metil-3-hepteno	
- O colesterol é álcool policíclico de cadeia longa $C_{27}H_{46}O$, e por ser um álcool pouco solúvel em água e, conseqüentemente, insolúvel no sangue. Para ser transportado através da corrente sanguínea o colesterol liga-se a lipoproteínas que podem ser classificadas de acordo com a sua densidade. As duas principais lipoproteínas usadas para diagnóstico dos níveis de colesterol de baixa densidade (Low Density Lipoproteins ou LDL e lipoproteínas de alta densidade (High Density Lipoproteins ou HDL). O consumo excessivo de gordura trans causa alterações no metabolismo lipídico, aumenta o colesterol total e o LDL (colesterol ruim), além de diminuir o HDL (colesterol bom). Analise a representação da molécula de colesterol e identifique, o(s) carbono (s) assimétrico (s).

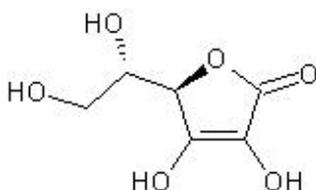


3. Quais, entre as substâncias listadas, se referem a estereoisômeros de uma substância meso?

- a) 2,4-dibromo-hexano
- b) 2,4-dibromopentano
- c) 2,4 dimetilpentano
- d) 1,3-diclorociclohexano
- e) 1,4-diclorociclo-hexano
- f) 1,2-diclorocilobutano

4. Louis Pasteur trabalha com cristais de tartarato de sódio e amônio, quando percebeu que os cristais não eram idênticos, pois alguns cristais eram assimétricos. Poucas substâncias formam cristais macroscópicos assimétricos, o que facilitou sua constatação e permitiu sua separação manual com o auxilia de uma pinça. Pesquise como a separação de enantiômeros é feita quando a separação manual não é possível.

5. O químico americano Linus Pauling é conhecido, principalmente, por ter recebido o Prêmio Nobel de Química, em 1954, pelo seu trabalho sobre ligações dos átomos e formação das substâncias. Pauling dedicou-se também ao estudo da vitamina C (ácido ascórbico), molécula que considerava importante para a prevenção e a cura de várias doenças. Linus Pauling ingeria dezenove gramas de Vitamina C todos os dias e recomendava que as pessoas tomassem cerca de dois gramas. Atualmente a ingestão diária recomendada de vitamina C varia de 60 a 200 mg, de acordo com a idade, sexo, e com alguns critérios aplicados nos países individuais. Estudos recentes estabelecem a estimativa de uso de vitamina C, para as necessidades de manutenção da saúde ótima, em torno de 100 mg diários. Analise a representação da molécula da vitamina C e identifique, o(s) carbono (s) assimétrico (s) e calcule quantos estereoisômeros possíveis.



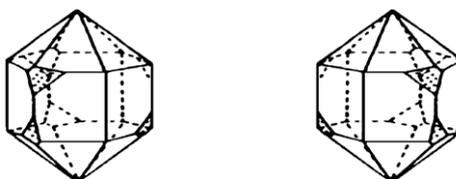
4 A ESTEREOQUÍMICA NO NOSSO COTIDIANO

Na estereoquímica, temos inúmeros exemplos que podem ser relacionados com nosso cotidiano, desde os mais simples, como o caso da gordura *trans*, bastante discutido na atualidade, até o mais complexo, como é o caso da quiralidade em determinados fármacos. A seguir alguns exemplos de estereoisômeros que podem ser relacionados ao nosso dia-a-dia.

4.1 Organismos vivos e a quiralidade

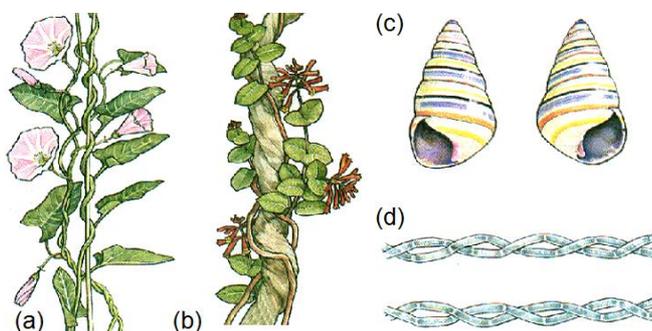
As formas das coisas têm impressionado a humanidade há séculos. No início do século XIX o mineralogista francês René Just Haüy observou a existência de dois cristais de quartzo que eram diferentes apenas na posição de duas faces (Figura 17). Esses cristais eram imagens espaciais um do outro e não eram sobreponíveis. Foram assim denominados enantiomorfos, palavra de origem grega onde *enántios* = opostos e *morfo* = forma. Esses objetos são quirais. (DIAS, SOARES, 2009; BARBOSA, 2011).

Figura 17- Cristais de Quartzo



Não apenas os cristais, mas seres vivos, objetos e moléculas possuem quiralidade. Segundo Pilli (2010, p.22): “A maioria dos compostos nos organismos vivos são quirais, incluindo o DNA, enzimas, anticorpos e hormônios”. No caso das plantas podemos, por exemplo, observar que a trepadeira *Convolvulus arvensis* (Figura 18a) que se enrosca para a direita enquanto a *Lonicera sempervirens* que se enrosca para a esquerda (Figura 18).

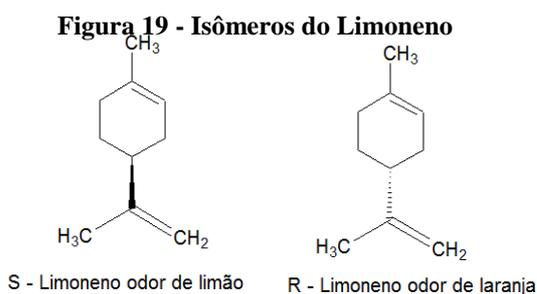
Figura 18 – Organismos que apresentam quiralidade



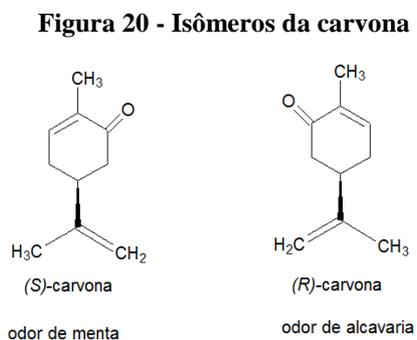
No reino animal temos um tipo de caracol *Liguus virgineus* (Figura 18c) que normalmente apresenta um formato de espiral que se enrosca para a direita, mas existem alguns mutantes que se enroscam para a esquerda. Ainda temos o exemplo da bactéria *Bacillus subtilis* (Figura 18d) que forma colônias em forma de espirais que se enroscam para a direita, as quais, quando aquecidas, passam a se enroscar para a esquerda (BARBOSA, 2011). Esses são exemplos de organismos, mas se pensarmos em nível molecular, há diferentes isômeros que possuem a mesma fórmula, mas diferentes propriedades.

4.2 Os sabores e aromas dos isômeros

Propriedades organolépticas são extremamente dependentes da quiralidade (BARREIRO ET AL, 1997); em especial no reconhecimento de propriedades como aroma e sabor. O limoneno (Figura 19) é um exemplo clássico: enquanto que a forma *S* apresenta o odor de limão, a forma *R* apresenta o odor de laranja. (PAIVA, 2006).

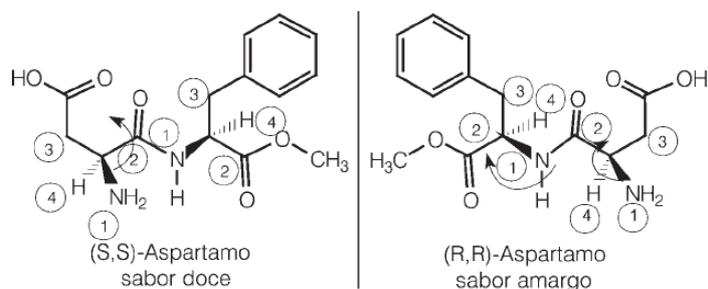


Um exemplo relacionado ao sabor pode ser encontrado no principal constituinte aromático do cominho, o isômero (*R*)-carvona de sabor picante e levemente amargo é característico dessa especiaria; já o isômero (*S*)-carvona (Figura 20) tem odor de menta, sendo o constituinte majoritário do óleo essencial de hortelã (BARBOSA, 2011).



Já o aspartame (Figura 21), adoçante sintético não calórico com uso largamente difundido no Brasil e no mundo utilizado como substituinte do açúcar comum, em configuração absoluta (S, S) tem sabor doce, enquanto que o seu epímero (R, R) tem sabor amargo (COELHO, 2011).

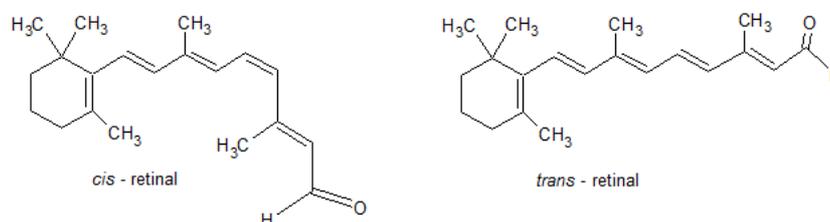
Figura 21 - Isômeros da aspargina



4.3 A estereoisomeria relacionada à visão

Nossa retina apresenta células receptoras da luz e contém uma substância chamada *cis*-retinal. A incidência de luz provoca a sua transformação em *trans*-retinal, fenômeno que gera um impulso elétrico que é enviado ao cérebro, o qual faz a interpretação dos impulsos, compondo as imagens que vemos. O olho dispõe de mecanismos capazes de reverter o *trans*-retinal em *cis*-retinal (Figura 22). Essa conversão permite que o olho esteja pronto para receber mais luz. Em cada segundo, esses eventos se repetem milhões de vezes em nossos olhos. O retinal é produzido pelo organismo a partir da vitamina A (CORREIA; DONNER JR.; INFAN-TE-MALACHIAS, 2008).

Figura 22 - Isômeros do retinal

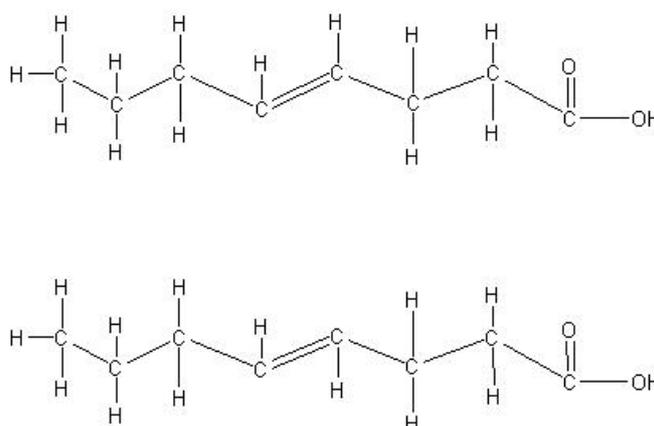


4.4 A vilã das gorduras: a gordura trans

Os alimentos que comemos dividem-se, basicamente, em três grupos: carboidratos, proteínas e lipídios. Além da função energética, os lipídios conferem sabor e aroma aos alimentos, sendo fontes de substâncias essenciais ao organismo. Os lipídios, dos quais os óleos e gorduras são as principais representantes, são formados a partir de ácidos carboxílicos com longas cadeias carbônicas, conhecidos como ácidos graxos. Ésteres de ácidos graxos são a maior reserva de energia dos seres vivos e são utilizados por um grande número de células no organismo humano, sendo parte integrante das membranas celulares e influenciando a função de receptores de membrana celular (JORDAN, 2010).

Os ácidos graxos formadores dos óleos diferem dos formadores de ácidos das gorduras por ter insaturações (Figura 23) em sua cadeia. Em função disso, os óleos possuem menor ponto de fusão e ebulição que as gorduras sendo, por isso, geralmente, líquidos na temperatura ambiente. Já as gorduras, nesta temperatura, são, geralmente, sólidas. Nos ácidos graxos insaturados em função da presença de uma ligação dupla entre átomos de carbono, tem-se a possibilidade de ocorrência dos dois isômeros geométricos: cis e trans. Em virtude da tensão provocada por dois segumentos volumosos presentes do mesmo lado da ligação dupla, os isômeros cis são termodinamicamente menos estáveis (SOLOMONS, FRYHLE, 2005).

Figura 23 - Ácidos graxos cis e trans



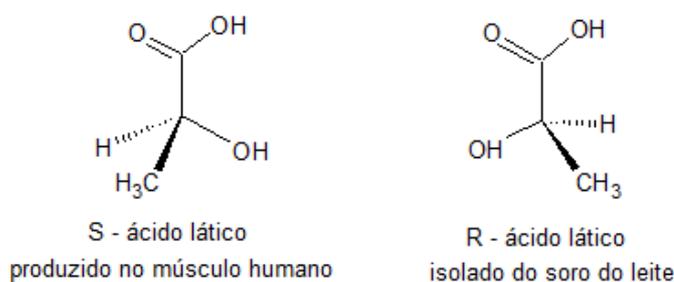
O termo gordura *trans* se popularizou em função da divulgação de possíveis malefícios à saúde decorrentes de seu consumo. Esse tipo de gordura é comum em sorvetes, chocolates diet, salgadinhos de pacote, bolos e tortas industrializados, algumas margarinas, maionese etc (RIBEIRO ET AL, 2007). Em geral, as informações na mídia apenas destacam seus malefícios, sem uma explicação mais concisa. A principal fonte de gordura *trans* é a hidrogenação parcial

de óleos vegetais que são usados na produção de margarinas e gorduras hidrogenadas. (MERÇON, 2010). Os ácidos graxos *trans* sempre fizeram parte da alimentação humana pois estão presentes em carnes, leite e seus derivados. No entanto, com a produção industrial de substitutos para gorduras animais por meio da hidrogenação parcial de óleos vegetais, houve um aumento da presença dos ácidos graxos *trans* na dieta (Martin et al, 2004).

4.5 Ácidos orgânicos e suas distintas propriedades

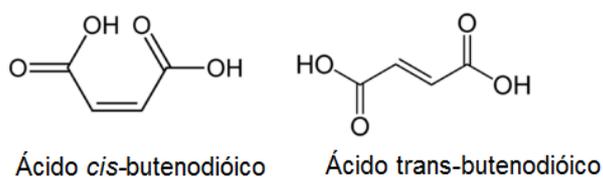
Em meados do século XIX, já eram conhecidas algumas substâncias que possuíam mesma constituição, porém diferente conectividade. O ácido láctico isolado do leite azedo pelo químico sueco Scheele em 1780 não era idêntico ao ácido láctico encontrado nos tecidos musculares por Berzelius em 1807. Em 1848 Engelhard estabeleceu que o ácido proveniente do músculo é o destrógiro (+) e o ácido obtido da fermentação do leite é o levógiro (-).

Isso ocorre por que o ácido láctico (Figura 24), possui na sua estrutura um centro quiral e pode originar dois compostos com propriedades diferentes. Atualmente o esteroisômero ácido láctico levógiro é produzido industrialmente por meio da fermentação bacteriana da lactose e empregado na neutralização da cal, no curtimento de couros, e na indústria alimentícia, como acidulante. Já o ácido láctico destrógiro é produzido em nosso próprio corpo. Quando metabolizamos glicose pela atividade muscular anaeróbica, o ácido láctico é gerado nos músculos e depois oxidado totalmente a CO_2 e H_2O (LEHNINGER ET AL., 1995).



Outro exemplo, é a diferença entre os diastereoisômeros do ácido butenodióico (Figura 25), que na sua forma *trans* é nomeado usualmente de ácido fumárico e na forma *cis* é denominado de ácido maleico.

Figura 25 - Isômeros do ácido butenodióico



Essas duas formas têm propriedades físicas, químicas e até mesmo biológicas bastante distintas, respectivamente: a solubilidade do isômero *cis* é aproximadamente duas ordens de grandeza maior que o *trans*, o isômero *trans* tem a capacidade de formar ligações de hidrogênio intermoleculares enquanto a forma *cis* formar ligações de hidrogênio intramolecular. Finalmente, a forma *trans* faz parte dos processos de produção celular de energia humana enquanto a forma *cis* é tóxica (RAUPP, 2010; FONSECA, 2001).

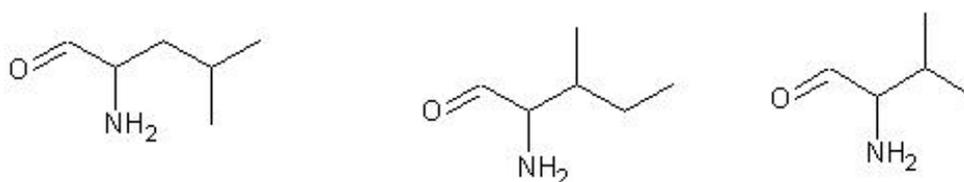
O ácido fumárico é responsável pelo equilíbrio na acidez dos alimentos, preservando sabores, propriedades e texturas, utilizados na fabricação de sobremesas e doces em geral, confeitos, molhos, compotas, geleias e ração animal. Na indústria de bebidas em geral, está presente na fabricação de refrescos em pó e refrigerantes. Já o ácido maleico é utilizado na fabricação de resinas sintéticas.

Questões para discussão

1. O (S)-(+)- glutamato monossódico (MSG) é uma substância utilizada para realçar o sabor de muitos alimentos. Algumas pessoas porém, tem reações alérgicas ao MSG. Na internet faça uma pesquisa sobre:

- a) sua fórmula molecular e estrutural;
- b) tipos de alimentos que contém o MSG;
- c) reações adversas

2. O leite apresenta três aminoácidos que constituem suas proteínas representados na seguinte ordem: a leucina, a isoleucina e a valina.

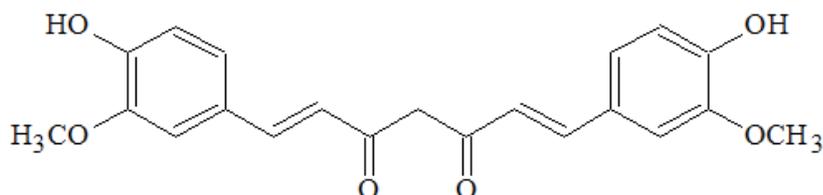


- Indique o número de carbonos assimétricos em cada um deles.
- Quantos enantiômeros são possíveis em cada caso?
- Represente os pares de enantiômeros.

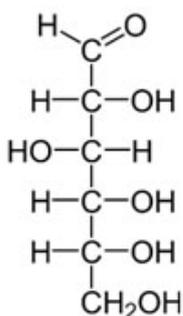
3. Durante séculos os chineses utilizaram um grupo de ervas denominado “efedra” para o tratamento de asma. O uso da erva promovia a dilatação dos pulmões facilitando a passagem do ar. A substância foi isolada, chamada de efedrina é utilizada até hoje para o tratamento da asma.

- Escreva a fórmula estrutural da efedrina.
- Quantos isômeros são possíveis para essa molécula?

4. A cúrcuma é uma planta herbácea da família do gengibre que tem sido utilizada na medicina indiana Ayurvedica há mais de 6 mil anos. Os benefícios da planta que também é denominada do açafrão-da-terra, seriam decorrentes da ação anti-inflamatória e antioxidante. Analise a molécula e indique o tipo de isomeria relacionada.



6. A glicose dextrógira é considerada fonte de energia para o organismo. No entanto a glicose levógira não é assimilada pelo nosso organismo. Analise representação da molécula de glicose e responda:



- Quantos carbonos assimétricos possui a molécula?
- Quantos isômeros tem a glicose?
- A glicose possui pares diastereoisômeros? Eles formam racematos?

5 A ESTEREOQUÍMICA DOS FÁRMACOS

A quiralidade é qualidade peculiar que compartilham muitas moléculas biologicamente importantes (BAGANTIN ET AL, 2005), estando relacionada com o efeito farmacológico dos fármacos.

Qualquer alteração na orientação espacial desses centros pode conduzir à total inativação do fármaco, à diminuição do efeito biológico ou então ao aparecimento de um efeito contrário, que pode ser extremamente danoso para a saúde dos consumidores (COELHO, 2001, p.32).

Por essa razão a IUPAC recomenda uma nomenclatura específica para os casos em que dois enantiômeros possuem potência de ação diferente. O enantiômero de maior ação farmacológica e afinidade pelo receptor é denominado *eutômero*, enquanto que o outro enantiômero, responsável pelo efeito indesejado é denominado *distômero* (ORLANDO ET AL, 2007).

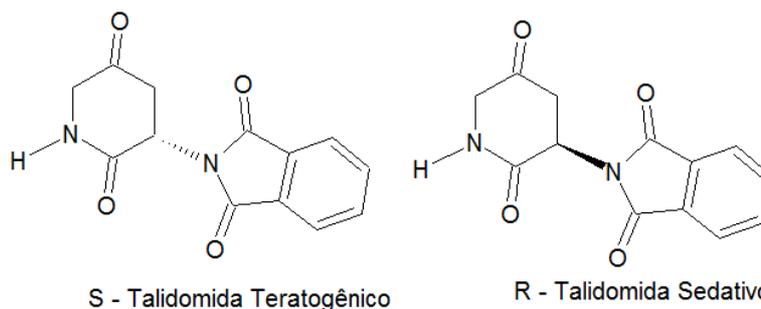
Os fármacos enantioméricos na sua maioria não são sintetizados de forma enantioselectiva, o que leva à formação de ambos os enantiômeros (ROMERO, 1998). Para separar esses enantiômeros havia até algumas décadas atrás dificuldades não somente de ordem técnica, mas também econômica. Por esses motivos, fármacos enantioméricos quase sempre eram comercializados na forma de racematos (MARZO, 1993).

5.1 O caso da Talidomida

A história do episódio mais clássico da importância da quiralidade nas propriedades farmacológicas teve seu início na década de 1960 na Europa. O nascimento de um número cada vez maior de bebês sem braços e sem pernas, além de outras deficiências físicas, deu início a uma criteriosa investigação. Ao final, foi constatado que todas as mães dos bebês deformados tinham ingerido o fármaco Contergan, prescrito como tranquilizante e para reduzir a náusea na gravidez. Na Alemanha, por exemplo, o Contergan podia ser comprado sem receita médica, sendo na época um grande sucesso comercial, no mundo todo.

O problema é que esse fármaco tinha como princípio ativo a talidomida (Figura 26), composto orgânico que apresenta um átomo de carbono quiral, e conseqüentemente dois enantiômeros diferentes. Isso ocorre, porque “fármacos quirais têm em sua estrutura um ou mais átomos com orientação tridimensional muito bem definida. A modificação dessa orientação pode levar à diminuição do efeito biológico, à sua total supressão ou ao aparecimento de um efeito biológico adverso” (COELHO, 2001, p.23).

Figura 26 - Isômeros da Talidomida



O isômero dextrógiro (*R*), de fato tem o efeito farmacológico desejado e induz ao sono, mas o levógiro (*S*) tem propriedades teratogênicas¹² que causaram a chamada catástrofe medicinal e atingiu cerca de doze mil crianças no mundo inteiro, excluindo os natimortos, inclusive no Brasil (FRAGA, 2001; SANTOS; CHIN; 2012).

A triste descoberta tornou claro que a organização da estrutura da molécula ao redor de um único átomo de carbono pode dar origem a diferentes compostos: um fármaco ou a uma substância perigosa. Assim a ideia de que em um racemato biologicamente ativo, um dos enantiômeros seria responsável pela atividade desejada (eutômero) e o outro inativo (distômero), foi abandonada. “Esse lamentável acontecimento despertou a atenção da comunidade científica e das autoridades farmacêuticas sobre a importância de um centro assimétrico na atividade farmacológica” (COELHO, 2001, p.27).

5.2 A estereoquímica dos anestésicos

Outro exemplo associado à mistura de enantiômeros pode ser observado na área de Anestesiologia. A bupivacaína utilizada como anestésico local de longa duração possui efeitos anestésico e analgésico. Segundo Simonetti (2011), na condição de um racemato (mistura de iguais concentrações dos enantiômeros) como era utilizada, foi considerada até um problema de saúde pública. Isso porque ambos os isômeros possuem atividade anestésica local, mas apenas o isômero *S* apresenta ação vasoconstritora, prolongando assim a ação anestésica local, enquanto o isômero *R* pode causar a cardiotoxicidade¹³.

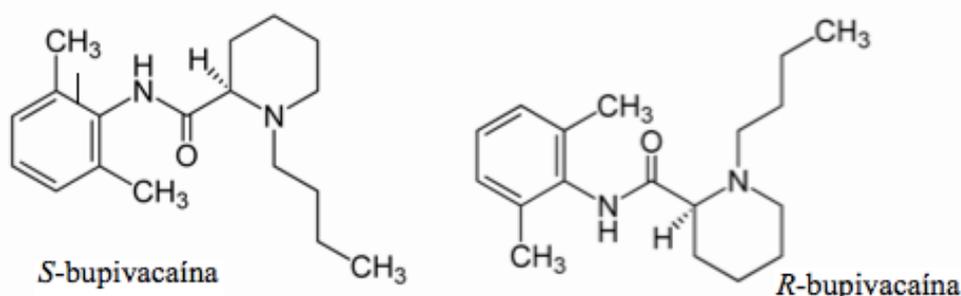
¹² Um agente teratogênico é definido como qualquer substância, organismo, agente físico ou estado de deficiência que, estando presente durante a vida embrionária ou fetal, produz uma alteração na estrutura ou função da descendência.

¹³ A cardiotoxicidade da bupivacaína manifesta-se por arritmias ventriculares graves e depressão miocárdica (MORAES ET AL, 2007).

Até meados da década de 80, a maioria dos fármacos era comercializada sob a forma de mistura racêmica. Atividade justificada devido às diversas dificuldades econômicas e tecnológicas para separar os enantiômeros e obtenção do enantiômero puro. Mas a partir da década de 90, devido ao crescente avanço tecnológico tornou-se possível a separação isomérica, e conseqüentemente a obtenção de fármacos opticamente puros (FERES; CUNHA, 2009).

Esse avanço permitiu a utilização como anestesia de um isômero levógiro puro, a *S*-ropivacaína; e mais recentemente, foi desenvolvida pela anestesologista e pesquisadora da Universidade de São Paulo, Maria Simonetti, uma mistura enantiomérica de bupivacaína, composta por 75% do isômero *S* e 25% do isômero *R* (Figura 27). Essa mistura apresentou maior tempo de analgesia e menor grau de bloqueio motor quando comparada à bupivacaína racêmica (GONÇALVES ET AL, 2003; DELFINO, 2009).

Figura 27– Isômeros bupivacaína



Sendo assim a busca de uma alternativa à luz da estereoisomeria para a anesteseologia, tem demonstrado que as Fármacos levóginas, apesar de menos potentes, parecem ser as mais seguras (DELFINO, 2009). Em especial no caso da *S*-bupivacaína (levobupivacaína) que “apresenta menor efeito cardiotoxíco e menores efeitos tóxicos no sistema nervoso central em comparação com *R*-bupivacaína e bupivacaína racêmica” (MORAES ET AL, 2007).

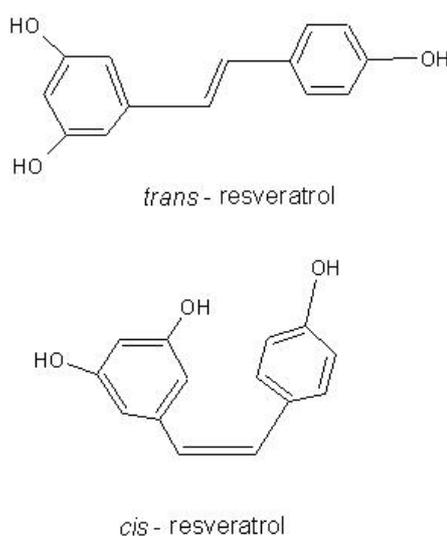
Por isso Simonetti (2011) ressalta o papel da estereoquímica nesse campo ao afirmar que, a estereoquímica tem importância fundamental para o entendimento dos mecanismos de ação da grande maioria dos agentes que promovem o estado de anestesia.

5.3 O poder do Resveratrol contra o envelhecimento

Devido às perspectivas de amplos benefícios à saúde, nos últimos anos o resveratrol (Figura 28), tornou-se alvo de intensos estudos. O isômero *trans*-resveratrol é encontrado de forma abundante na casca das uvas pretas, também é constituinte de amoras, nozes e amendoins.

Comercializado no estado sólido, apresenta uma relativa estabilidade molecular, sendo convertido em isômero *cis*-resveratrol quando exposto a radiação UV. Estudos tem demonstrado que a diferença entre os isômeros são, em geral, apenas de ordem quantitativa. Qualitativamente, ambos apresentam os mesmo benefícios. (GOLDBERG ET AL., 1995, ORALLO, 2006), sendo que estudos referentes ao metabolismo e aos efeitos biológicos exercidos pelo isômero *trans*-resveratrol denotam um elevado potencial antioxidante proporcionado pela sua capacidade de absorver os radicais livres presentes no meio.(Goldberg et al., 1995). Além disso possui propriedades antiinflamatórias e anticancerígenas.

Figura 28– Isômeros do resveratrol



5.4 Racematos e enantiômeros puros

Freitas (2010) considera que uma vez que a comercialização e a utilização de fármacos com estruturas racêmicas é muito ampla, o estudo sobre os estereoisômeros é fundamental,

visto que o metabolismo dos seres vivos estão altamente relacionados a estereoquímica. Mas essa ampla comercialização de fármacos quirais, aliada aos insucessos do passado faz com que vários países possuam legislação própria quanto ao desenvolvimento e comercialização de fármacos enantiomericamente puros (ORLANDO ET AL, 2007).

No Brasil há uma série de fármacos comercializados que são opticamente puros: antibióticos como Amoxicilina, Ampicilina, Cefalexina; fármacos utilizados no controle da pressão arterial como Captopril e Enalapril; e anti-inflamatórios como Ibuprofeno e Naproxen. E complementa afirmando que: “Fármacos quirais necessitam de cuidados especiais por parte das autoridades farmacêuticas, no sentido de garantir que somente aquele estereoisômero responsável pela atividade seja vendido nas farmácias” (COELHO, 2001, p.32).

Questões para discussão

- 1) Por que o estudo sobre os estereoisômeros é fundamental para a indústria farmacêutica?
- 2) Explique por que até meados da década de 80, a maioria dos fármacos eram comercializados sob a forma de racemato.
- 3) Por que fármacos quirais necessitam de cuidados especiais por parte das autoridades farmacêuticas? Qual a denominação adotada para os casos em que dois enantiômeros possuem potência de ação diferente?
- 4) O prêmio Nobel de 2001 foi concedido aos químicos que desenvolvera um processo síntese de moléculas opticamente ativas. Explique é a relevância dessa pesquisa.

6 ESTRUTURA 3D E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES DAS SUBSTÂNCIAS

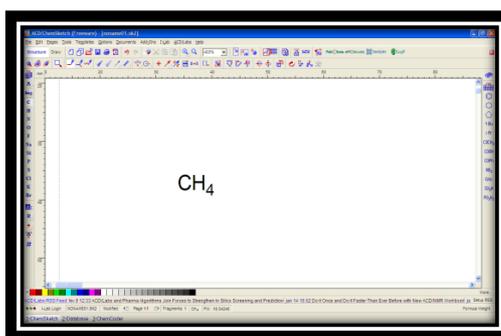
A descoberta do arranjo tetraédrico do carbono em 1874 por van't Hoff foi o início para desenvolvimento e compreensão das fórmulas estruturais químicas em três dimensões (CHAGAS, 2001). Nesse contexto, um dos conceitos básicos para a compreensão da estereoquímica é o conceito de geometria molecular - o estudo da distribuição espacial dos átomos. Cada composto apresenta uma “arquitetura molecular” distinta; cada molécula tem exatamente uma geometria específica (TOSTES, 1998).

6.1 Software para visualização de estruturas tridimensionais

Usando o software ACD/ChemSketch da ACDLabs é possível construir e visualizar moléculas em 2D e 3D. A versão freeware está disponível para download no endereço: http://www.acdlabs.com/download/chemsk_download.html.

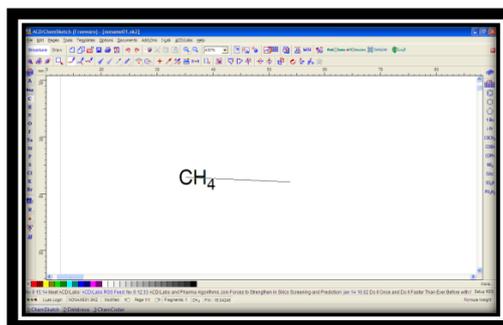
Em primeiro lugar, a interface do programa permite que o estudante ou professor construa a molécula de forma simples e fácil. Inicialmente, o estudante pode, por exemplo, tentando construir a molécula de etano ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$), clicar na opção de selecionar o átomo de carbono no menu à esquerda (Figura 29). Em seguida, ao clicar no espaço em branco na tela o programa escreverá CH_4 , respeitando a valência do carbono e a necessidade de se preencher com átomos de hidrogênio as ligações restantes.

Figura 29: Representação do CH_4



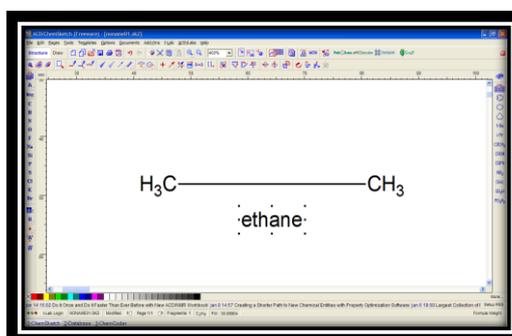
Em seguida, pode-se clicar diretamente no grupamento desenhado e “arrastar” para a direita, e o programa desenhará uma linha, indicando a ligação deste grupo com outro a ser desenhado (Figura 30).

Figura 30: Colocação de uma ligação extra com um novo elemento/grupo



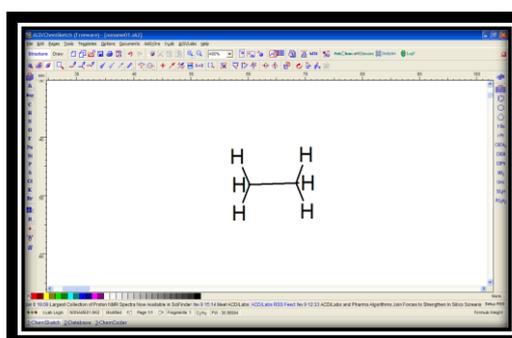
Na Figura 31, no final da nova ligação construída, selecionamos também um átomo de carbono, que foi descrito pelo programa como CH₃, visto que já existe uma ligação preenchida com o grupamento anterior. Imediatamente o programa ajustará a Valência do CH₄ para acomodar a ligação recém construída, alterando-o para CH₃. Pode-se colocar um nome, utilizando a opção de nomear estruturas.

Figura 31: Fórmula estrutural plana do etano e opção “nomear estruturas”

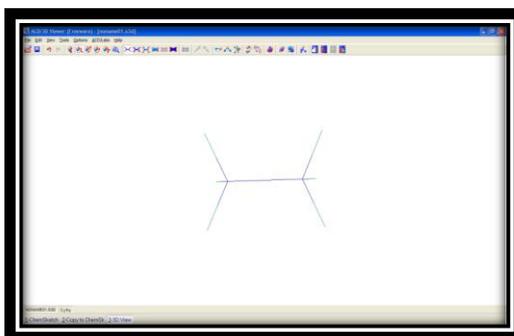


Agora, com a estrutura esquematizada, pode-se solicitar a “otimização” da estrutura. Assim, o programa utilizará algoritmos específicos para encontrar uma estrutura química próxima à esquematizada, que se pode ver na Figura 32.

Figura 32: Opção "Otimização da estrutura"

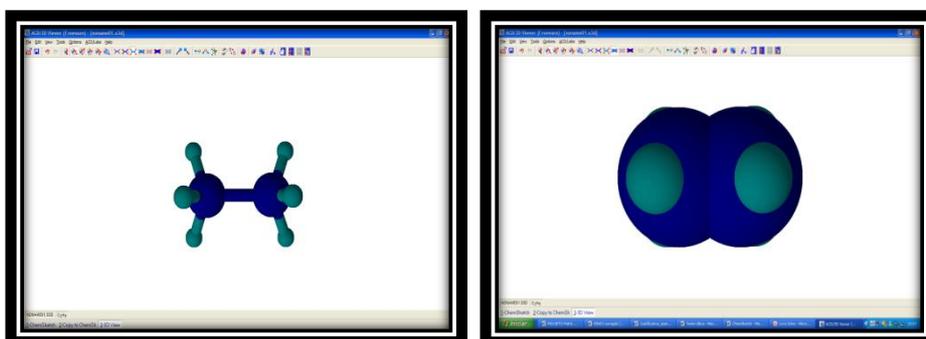


Neste ponto, estamos com a estrutura desejada construída e otimizada. Esta estrutura muito provavelmente é tridimensional, mas não se pode observar corretamente com a visualização escolhida. Assim, podemos solicitar que a estrutura 3D seja mostrada. A figura 33 mostra a opção de visualização 3D chamada “wireframe”, em referência à uma estrutura feita de “arames”, sem uma representação específica diferenciada para átomos, apenas ligações com coloração terminal indicando o tipo de átomo ali presente. A interface do programa também é completamente alterada, surgindo esta estrutura tridimensional em outra janela.



Pode-se agora solicitar a visualização em outros esquemas, como “Balls and Sticks” ou varetas e bolinhas, tipicamente semelhantes aos modelos utilizados em sala de aula; e a *Spacefill* (Figura 34 e), onde o raio médio dos elétrons de valência em torno dos átomos é utilizado para se preencher uma figura sólida. Neste caso, não se representam ligações, sendo esta representação o extremo oposto da anterior, *wireframe*, onde apenas as ligações são representadas.

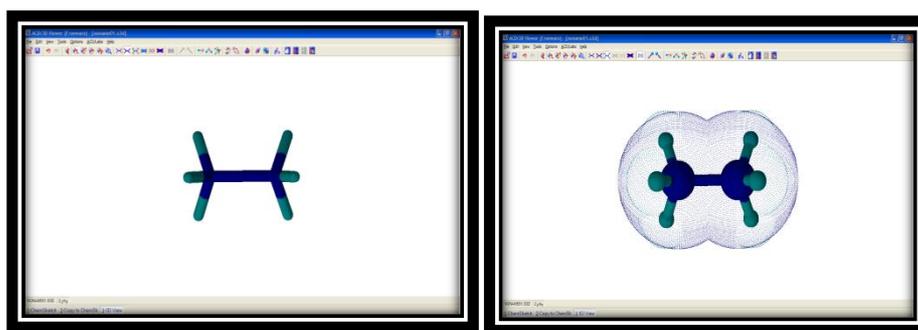
Figura 34. Representações 3D: “balls and sticks” e “spacefill”.



Na figura 35 a representação “Sticks only” que representam apenas as ligações, semelhantemente ao *wireframe*, mas com a visualização tridimensional destas ligações,

permitindo uma apreciação do caráter geométrico da estrutura, o que é praticamente impossível com a *wireframe* apenas; finalmente a representação de “nuvem eletrônica” mostra o que seria o raio médio dos elétrons de valência como uma “casca esférica” em torno de cada átomo, dentro uma representação de “balls and sticks”.

Figura 35. Representações 3D: “sticks only” e “nuvens eletrônicas”.



Utilizando o Software Chemskech construa as moléculas de água e metano. Não esqueça de otimizar a geometria ao passar da forma 2D para 3D. A opção “**Measure Bond Angle**” permite determinarmos o ângulo entre três átomos (valor dado em deg), e a opção “**Measure Distance**”: permite determinarmos a distância entre dois átomos em Å (angstrom).

Atividades

1) Determinando ângulos e distâncias de ligação

- a) Calcule a distância da ligação H-O e C-H.
- b) As distâncias são iguais? A estereoquímica (do grego *stereo*, sólido) estuda as características tridimensionais da molécula. Conteúdos como geometria molecular, análise conformacional, estereoisomeria e quiralidade são abordadas nas disciplinas de Química Orgânica básica tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior nos cursos de química, farmácia, biomedicina, bioquímica entre outros.
- c) Calcule agora o ângulo de ligação H-O-H e H-C-H.

2) Estudando a geometria molecular

Utilizando as representações 3D represente as geometrias: linear, angular, trigonal plana, piramidal trigonal, tetraédrica, bipiramidal trigonal, octaédrica. Complete a tabela, sendo que na coluna “ Estrutura 3 D” você deverá colar a representação da molécula fazendo um “print screen” da tela :

Geometria	Fórmula Química	Estrutura 3D

3) Construindo isômeros

Construa no ChemSketch os seguintes isômeros em 2D e 3D. Usando a ferramenta print screen preencha a tabela com as respectivas estruturas tridimensionais.

- cis*-2-buteno e *trans*-2-buteno
- cis*-3-Cloro-2-buteno e *trans*-3-Cloro-2-buteno
- cis* – 1,2 – dibromo ciclopropano e *trans*– 1,2 – dibromo ciclopropano
- Ácido *cis*-butenodióico (maleico) e Ácido *trans*-butenodióico(fumárico)

Isómeros	Fórmula Química	Estructura 3D
<i>cis</i> -2-buteno		
<i>trans</i> -2-buteno		
<i>cis</i> -3-Cloro-2-buteno		
<i>trans</i> -3-Cloro-2-buteno		
<i>cis</i> - 1,2 - dibromo ciclopropano		
<i>trans</i> - 1,2 - dibromo ciclopropano		
Ácido <i>cis</i> -butenodióico (maleico)		
Ácido <i>trans</i> - butenodióico(fumárico)		

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, R. W.; GEORGE, A.V. E HARDING, M. M. Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation, and reflection. **Journal of Chemical Education**, v. 75, n. 7, p. 757-853, 1998.
- BARBOSA, L. C. A. **Introdução à Química Orgânica**, 2.ed, Pearson Prentice Hall, Ed. São Paulo, 2011, 331p.
- BARREIRO, E. J.; FERREIRA, V. F.; COSTA, P.R. Substâncias Enantiomericamente Puras: A Questão dos Fármacos Quirais. **Química Nova**, v.20, n.6,1997.
- BRUICE, P. Y. **Química Orgânica**. 4 ed, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2006, 590p.
- CARDOSO, S. P; COLINVAUX, D. Explorando a motivação para estudar Química. **Química Nova**. v. 23, n. 3, p. 401, 2000.
- CHASSOT, A, **Catalisando transformações na Educação**.3ed Editora Unijuí. Ijuí, 1993, 174p.
- COELHO, F.A.S. Fármacos e Quiralidade. **Química Nova na Escola**, n.3, 2001.
- CORREIA, P. R. M. DONNER JR, J. W. A. ;. Mapeamento conceitual como estratégia para romper fronteiras disciplinares: a isomeria nos sistemas biológicos. **Ciência e Educação**, v.14, n.3, 2008.
- CROSLAND, M. P. **Historical Studies In The Language Of Chemistry**, Heinemann, London, 1962, 406p.
- DAMAZIO, Ademir. **O desenvolvimento de conceitos matemáticos no contexto do processo extrativo do carvão**. Florianópolis: UFSC, 2000. Tese de Doutorado.
- DIAS, A.G ;SOARES, R.O. Quiralidade em moléculas e cristais. **Química Nova**, v.32, n.8, 2009.
- ESTEBAN, S., Liebig–Wöhler Controversy and the Concept of Isomerism. **Journal of Chemical Education**, v.85, n.9, 2008.
- EVANS, G. G. Stereochemistry in the terminal course. **Journal of Chemical Education**, v.40, 1963.
- FERES; M.V ; FILHO, M.C.C CUNHA. Medicamentos Quirais: Direito À Patente Ou Pseudo-Inovação? XVIII Congresso Nacional do CONPEDI, **Anais**, São Paulo,2009.
- FONSECA, M.R.M. **Completamente Química: Química Orgânica**,FTD, São Paulo, 2001.
- FRAGA, C.A. Razões da Atividade Biológica. **Química Nova na Escola**, n.3, 2001.
- GABEL, D.Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. **Journal of Chemical Education**, v.70, n.3, 1993.
- GOUVEIA-MATOS. J.A.M.,Pasteur: ciência para ajudar a vida. **Química Nova na Escola** v.6, 1997.
- HODSON, D. **Teaching and Learning science – Towards a personalized approach**. Buckingham: Open University Press, 1998, 200p.
- IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology**, 2nd ed. (the "Gold Book"), 2014. Disponível em <http://goldbook.iupac.org>, Acessado em 23 de maio 2014.
- JORDAN, R. G. Prenatal Omega-3 Fatty Acids: Review and Recommendations. **Journal of Mid- wifery & Women’s Health**, v. 55, n. 6, p. 520-528, 2010.

- KEIG, P. F.; RUBBA, P. A., Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, Gender, Spatial Reasoning, And Specific Prior Knowledge. **Journal of Research in Science Teaching**, v.30, 1993.
- KOZMA, R.; CHIN, E.; RUSSELL, J.; MARX, N. , The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. **Journal of the Learning Sciences**, v.9, n.2, 2000.
- KURBANOGLU, N. I.; TASKESENLIGIL, Y.; SOZBILIR, M., Programmed instruction revisited: a study on teaching stereochemistry, **Chemistry Education Research and Practice**, v.7, n.1, 2006.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON D. L. **Princípios de Bioquímica**. New York: Sarvier, 1995, 839p.
- LEITE, L. History of science in science education: development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. **Science & Education**, Dordrecht, v. 11, n.4, 2002.
- LIMA, J.F.L.; PINA, M.S.L.; BARBOSA, R.M.N.; JÓFILI, Z.M.S. Contextualização no ensino de Cinética Química. **Química Nova na Escola**, n.11, 2000.
- LOGUERCIO, R. Q.; SOUZA, D.O; DEL PINO, J. C. A Educação e o livro didático. **Educação**,n.48, 2002.
- LOGUERCIO, R.Q; DEL PINO, J. C Em defesa do filosofar e do historicizar conceitos científicos. **Revista História da Educação**, n. 23, 2007.
- LOPES,A.R.C. **Conhecimento escolar** : ciência e cotidiano / Alice Ribeiro. Casimiro Lopes. – Rio de Janeiro : EdUERJ, 1999, 236p
- MARTIN, C.A.; CARAPELLI, R.; VISAN- TAINER, J.V.; MATSUSHITA, M. e SOUZA, N.E.; Trans fatty acid content of Brazilian biscuits. **Food Chemistry**, v. 93, n. 3, p. 445-448, 2005.
- MARZO, A A. How incoming guidelines on chiral drugs could impact on the international scenary of drug development. **Bollettino Chimico Farmaceutico**, v. 132, p. 267-271, 1993.
- MCMURRY, J.**Química Orgânica**. 6 Ed. v. 1, Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2005, 492p.
- MERÇON, F. O que é uma Gordura Trans? **Química Nova na Escola**. v. 32, n. 2, 2010.
- NOBEL PRIZE. "Speed Read: Connecting Form with Function". Nobelprize.org. Disponível em <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1975/speedread.html>
- NOBEL PRIZE. "The Nobel Prize in Chemistry 2001". *Nobelprize.org*. Disponível em http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2001/
- NOBEL PRIZE. The Nobel Prize in Chemistry 1975: John Cornforth, Vladimir Prelog. Disponível em http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1975. Acessado 02 maio de 2014.
- ORALLO,F. Comparative studies of the antioxidant effects of *cis* and *trans*resveratrol. *Current Medicinal Chemistry*, n.13, v.1,p.87-98, 2006.
- PAIVA, A.P. O Fenômeno da Quiralidade – Bases de estereoquímica. Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, n. 103, p. 56, 2006.
- PILLI, R. A. Catálise assimétrica e o prêmio nobel 2001. **Química Nova na Escola**, v.14, 2001

- RAMBERG, Peter J. Chemical structure, spatial arrangement: the early history of stereochemistry, 1874-1914, pp. 87-109. Aldershot: Ashgate, 2003. BAGATIN, O.; SIMPLÍCIO, F.A.; SANTIN, S.M.O.; FILHO, O.S.. “Rotação de Luz Polarizada por Moléculas Quirais” **Química Nova na Escola**, v.21, 2007.
- RAUPP, D.T. Um estudo de caso sobre a compreensão de conceitos químicos mediante visualização de representações computacionais 3D utilizando o referencial de Campos Conceituais. **Dissertação de mestrado**, PPGECIM, ULBRA, 2010.
- RIBEIRO, A.P.B.; Moura, J.M.L.N.; Grimaldi, R. E Gonçalves. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras zero *trans*. **Química Nova**, v.30, n.5, 2007.
- ROMERO, J. R. **Fundamentos de Estereoquímica dos Compostos Orgânicos**. Holos, Ribeirão Preto, 1998, 108p.
- SALATIEL, E. E VIENNOT, L. ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontaneo de los estudiantes? **Enseñanza de las Ciencias**, v.137, 1985.
- SANTOS, J.L, CHIN, C.M. Anemia falciforme: desafios e avanços na busca de novos fármacos. **Química Nova**, v.35, n.4, 2012.
- SANTOS, W.L. e MORTIMER, E.F. A dimensão social do ensino de Química– Um estudo exploratório da visão de professores. *II Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências*. **Anais**. Valinhos, 1999.
- SHELDON, R.A. **Chirotechnology** – Industrial Synthesis Of Optically Active Compounds, Marcel Dekkerinc Nova Iorque, 1993.
- SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C.B. **Química Orgânica**, v.1, 7ed, LTC, Rio De Janeiro, 2001, 492p.
- SUH, II-H; PARK, K. H.; JENSEN, W. P.; LEWIS, D. E.; Molecules, Crystals, and Chirality. **Journal of Chemical Education**. v.74, 997
- WU, H.K.; SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science Education**, v.88, n 3, 2004.

APENDICE E – PRÉ-TESTE ALUNOS ENSINO MÉDIO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado(a) participante:

Sou estudante no Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências da UFRGS. Estou realizando uma pesquisa sob supervisão do professor José Claudio Del Pino, cujo objetivo é investigar os processos de ensino e aprendizagem de estereoquímica.

Sua participação envolve um pré-teste, uma atividade no laboratório de informática, leitura do material e um pós-teste. A participação nesse estudo é voluntária e se você decidir não participar ou quiser desistir de continuar em qualquer momento, tem absoluta liberdade de fazê-lo. Seu desempenho nesse na pesquisa não afetará sua avaliação na disciplina.

Na publicação dos resultados desta pesquisa, sua identidade será mantida no mais rigoroso sigilo. Serão omitidas todas as informações que permitam identificá-lo(a).

Mesmo não tendo benefícios diretos em participar, indiretamente você estará contribuindo para a compreensão do fenômeno estudado e para a produção de conhecimento científico.

Quaisquer dúvidas relativas à pesquisa poderão ser esclarecidas pelo(s) pesquisador(es) pelo email dtraupp@gmail.com.

Atenciosamente

Daniele Trajano Raupp

Matrícula: 210937

José Cláudio Del Pino

Matrícula:5903

Consinto em participar deste estudo e declaro ter recebido uma cópia deste termo de consentimento.

INSTRUÇÕES

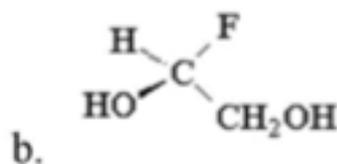
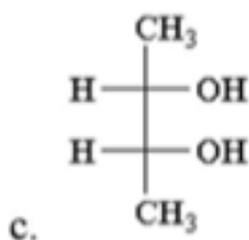
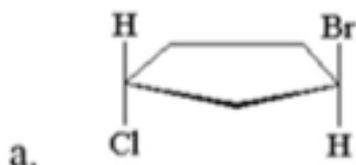
A proposta dessas questões é analisar sua compreensão sobre estereoquímica. A justificativa para escolha da sua resposta é tão importante quanto sua resposta.

Para responder cada questão:

- Leia atentamente cada questão.
- Use o tempo suficiente para definir e analisar sua questão.
- Marque sua resposta na grade com caneta azul ou preta preenchendo todo o espaço compreendido no círculo correspondente à opção escolhida para a resposta.
- Leia as possibilidades das justificativas para sua resposta.
- Selecione cuidadosamente justificativa da sua resposta e marque na grade com caneta azul ou preta preenchendo todo o espaço compreendido no círculo correspondente à opção escolhida para a resposta.
- Se você mudar de ideia sobre sua resposta ou justificativa, faça um X na alternativa que você deseja desconsiderar e preencha a nova opção escolhida.

Sua participação na pesquisa é voluntária. Seu desempenho nesse teste não afetará sua nota na disciplina. Para mais detalhes contate a pesquisadora: dtraupp@gmail.com

Questão 1: Determine qual (is) desses compostos tem carbono assimétrico (centro quiral).

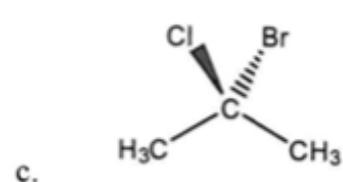
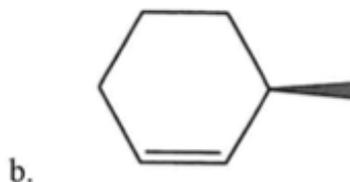
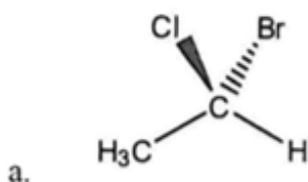


d. Todos

Justificativa

1. Moléculas são não superponíveis com suas imagens especulares.
2. Moléculas são superponíveis com suas imagens especulares.
3. O carbono quiral não está ligado a quatro diferentes grupos.
4. Eles não tem um plano de simetria.

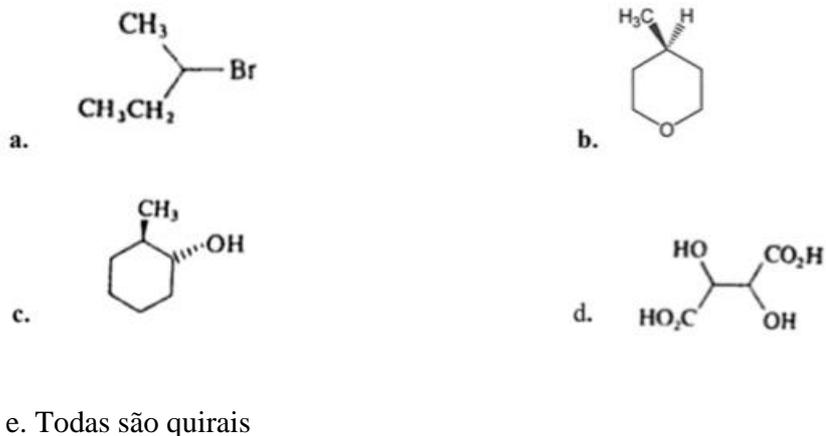
Questão 2: Qual dos compostos não possui um enantiômero.



Justificativa

1. Tem um centro quiral.
2. Não tem um plano de simetria.
3. É aquiral.
4. É uma molécula quiral sem centro quiral.

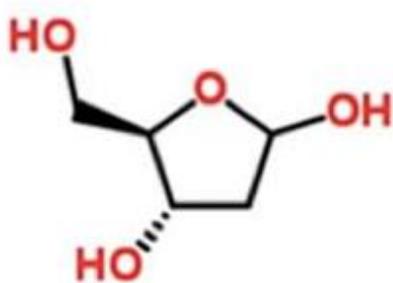
Questão 3: Identifique as moléculas aquirais.



Justificativa

1. A molécula não tem plano de simetria, portanto não é quiral.
2. Suas imagens especulares não são idênticas.
3. O estereocentro é ligado a quatro diferentes grupos.
4. Suas imagens especulares são idênticas à original, portanto a molécula não é quiral.

Questão 4: A 2-desoxiribose contém cinco átomos de carbono incluindo um grupo funcional aldeído. É derivada da ribose por substituição do grupo hidroxila na posição 2 por hidrogênio, resultando na perda de um átomo de oxigênio. Participa na composição do DNA (ácido desoxirribonucleico).



Quantos estereoisômeros são possíveis para a 2-desoxiribose?

- a) 8
- b) 6
- c) 4
- d) 0

Justificativa

1. Presença de 4 carbonos assimétricos.
2. Presença de 3 carbonos assimétricos.

3. Presença de 2 carbonos assimétricos.
4. A regra 2ⁿ é válida apenas para moléculas acíclicas.

Questão 5: Qual a melhor descrição para a relação entre essas duas moléculas?



- a. São enantiômeros.
- b. São isômeros constitucionais.
- c. São diastereoisômeros.
- d. São idênticas.

Justificativa

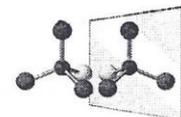
1. Moléculas são não superponíveis, imagens especulares.
2. Moléculas não são superponíveis e não são imagens especulares.
3. Essas moléculas tem a mesma fórmula molecular e diferente conectividades.
4. Moléculas são superponíveis e não são imagens especulares.

Você conhece a história do desenvolvimento da estereoquímica? Então escreva tudo o que sabe sobre essa história (fatos, descobertas, cientistas envolvidos etc).

Na estereoquímica, temos inúmeros exemplos que podem ser relacionados com nosso cotidiano. Você conhece algum exemplo? Escreva tudo o que sabe sobre os estereoisômeros que fazem parte do nosso

GRADE DE RESPOSTAS

RESPOSTAS	JUSTIFICATIVA
<p>1</p> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<p>2</p> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<p>3</p> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<p>4</p> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<p>5</p> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>

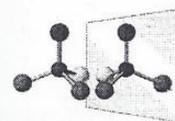


TESTE DE DIAGNÓSTICO EM ESTEREOQUÍMICA

Número: 20 Turma: 1223

GRADE DE RESPOSTAS

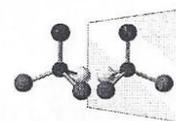
RESPOSTAS	JUSTIFICATIVA
<p>1</p> <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> D	<p>1 2 3 <input checked="" type="radio"/> 4</p>
<p>2</p> <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> C	<p>1 2 <input checked="" type="radio"/> 3 4</p>
<p>3</p> <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E	<p>1 2 3 <input checked="" type="radio"/> 4</p>
<p>4</p> <input checked="" type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D	<p>1 <input checked="" type="radio"/> 2 3 4</p>
<p>5</p> <input checked="" type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D	<p>1 <input checked="" type="radio"/> 2 3 4</p>



TESTE DE DIAGNÓSTICO EM ESTEREOQUÍMICA

Você conhece a história do desenvolvimento da estereoquímica? Então escreva sobre essa história (fatos, descobertas, cientistas envolvidos etc.)

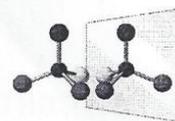
Cientistas descobriram que há substâncias que por serem enântimeras que podem fazer efeitos contrários, quando usado em medicamentos.



TESTE DE DIAGNÓSTICO EM ESTEREOQUÍMICA

Você conhece a história do desenvolvimento da estereoquímica? Então escreva sobre essa história (fatos, descobertas, cientistas envolvidos etc.)

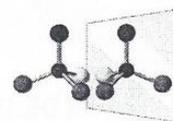
Não conheço nada sobre a história da estereoquímica



TESTE DE DIAGNÓSTICO EM ESTEREOQUÍMICA

Na estereoquímica, temos inúmeros exemplos que podem ser relacionados com nosso cotidiano. Você conhece algum exemplo? Escreva sobre os estereoisômeros que fazem parte do nosso dia-a-dia.

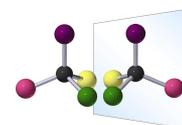
Não lembro.



TESTE DE DIAGNÓSTICO EM ESTEREOQUÍMICA

Na estereoquímica, temos inúmeros exemplos que podem ser relacionados com nosso cotidiano. Você conhece algum exemplo? Escreva sobre os estereoisômeros que fazem parte do nosso dia-a-dia.

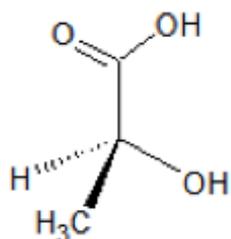
O remédio dos bebês ~~que~~ foi feito com os enantiômeros errados, e o efeito de que tirava as náuseas de grávidas foi interrompido pelo que atrofiava os membros dos bebês



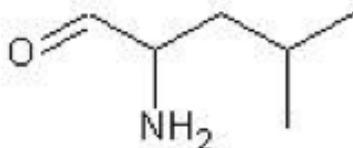
APÊNDICE F – PÓS-TESTE ENSINO MÉDIO

Questão 1: Determine qual (is) desses compostos tem carbono assimétrico (centro quiral).

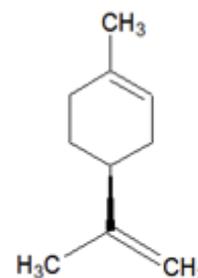
a)



b)



c)



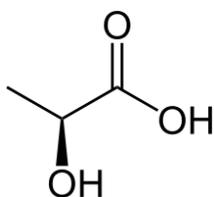
d. Todos

Justificativa

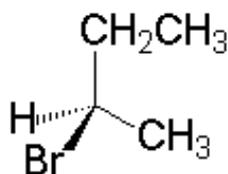
1. Moléculas não são superponíveis com suas imagens especulares.
2. Moléculas são superponíveis com suas imagens especulares.
3. O carbono quiral não está ligado a quatro diferentes grupos.
4. Eles não tem um plano de simetria.

Questão 2: Qual dos compostos não possui um enantiômero.

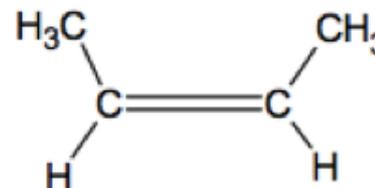
a)



b)

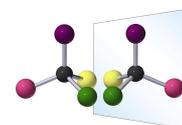


c)

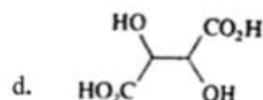
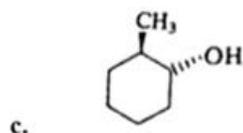
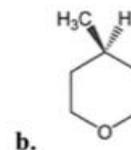
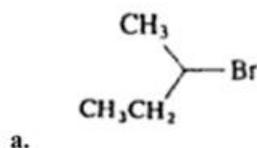


Justificativa

1. Tem apenas um centro quiral.
2. Não tem um plano de simetria.
3. É aquiral.
4. É uma molécula quiral sem centro quiral.



Questão 3: Identifique as moléculas aquirais.

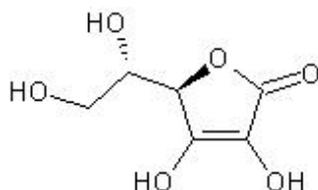


e. Todas são quirais

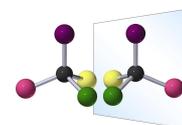
Justificativa

1. A molécula não tem plano de simetria, portanto não é quiral.
2. Suas imagens especulares não são idênticas.
3. O estereocentro é ligado a quatro diferentes grupos.
4. Suas imagens especulares são idênticas à original, portanto a molécula não é quiral.

Questão 4: O químico americano Linus Pauling é conhecido, principalmente, por ter recebido o Prêmio Nobel de Química, em 1954, pelo seu trabalho sobre ligações dos átomos e formação das substâncias, dedicou-se também ao estudo da vitamina C (ácido ascórbico), molécula que considerava importante para a prevenção e a cura de várias doenças. Analise a molécula da vitamina C e calcule quantos estereoisômeros possíveis.

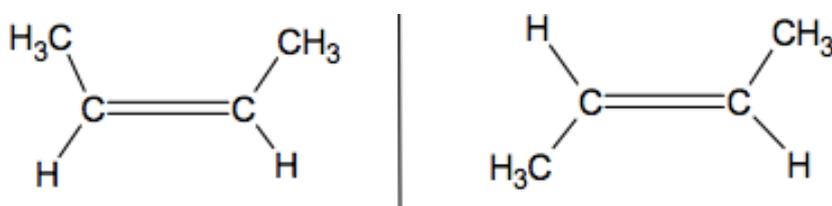


- a) 8
- b) 6
- c) 4
- d) 2



1. Justificativa
2. Presença de 4 carbonos assimétricos.
3. Presença de 3 carbonos assimétricos.
4. Presença de 2 carbonos assimétricos.
5. A regra 2ⁿ é válida apenas para moléculas acíclicas.

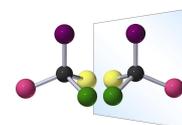
Questão 5: Qual a melhor descrição para a relação entre essas duas moléculas?



- a. São enantiômeros.
- b. São isômeros constitucionais.
- c. São diastereoisômeros.
- d. São idênticas.

Justificativa

5. Moléculas não são superponíveis, mas são imagens especulares.
1. Moléculas não são superponíveis e não são imagens especulares.
2. Essas moléculas tem a mesma fórmula molecular e diferente conectividades.
3. Moléculas são superponíveis e não são imagens especulares.



Você conhece a história do desenvolvimento da estereoquímica? Então escreva tudo o que sabe sobre essa história (fatos, descobertas, cientistas envolvidos etc.)

PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

Na estereoquímica, temos inúmeros exemplos que podem ser relacionados com nosso cotidiano. Você conhece algum exemplo? Escreva tudo o que sabe sobre os estereoisômeros que fazem parte do nosso dia-a-dia.

PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

GRADE DE RESPOSTAS

RESPOSTAS	JUSTIFICATIVA
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>

PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

O objetivo deste questionário é o de coletar a opinião do aluno sobre a forma em que foram introduzidos os conteúdos Estereoquímica. Com isso, a pesquisadora terá elementos adicionais para analisar criticamente a unidade, procurar corrigir eventuais falhas e melhorar a proposta.

Expresse sua opinião livremente. Em hipótese alguma os resultados do questionário terão influência na avaliação da disciplina.

Procure ser imparcial. No questionário você encontrará uma sequência de afirmativas. Ao lado delas há uma escala na qual você deverá assinalar com um X a alternativa que melhor expressa sua opinião quanto às afirmativas. Sendo:

CP → Concordo plenamente

C → Concordo

NO → Não tenho opinião ou estou indeciso

D → Discordo

DT → Discordo totalmente

Na medida do possível, evite usar a alternativa NO. Leia com atenção cada afirmativa antes de expressar sua opinião. Você fazer qualquer comentário adicional, o verso da folha de respostas.

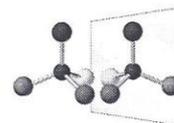
Obrigada pela colaboração!

PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

Os conceitos são apresentados de forma clara.	CP C NO D DT
O texto é adequado para uso no Ensino Médio.	CP C NO D DT
O texto fornece uma visão da evolução da estereoquímica como ciência.	CP C NO D DT
Os conteúdos relacionados a parte histórica não despertaram meu interesse.	CP C NO D DT
Eu não conhecia nenhum fato histórico relacionado à área.	CP C NO D DT
Os exemplos relacionados ao cotidiano são apresentados com clareza.	CP C NO D DT
Eu não conhecia nenhum fato relacionado ao cotidiano.	CP C NO D DT
Os conteúdos relacionados ao cotidiano não despertaram meu interesse.	CP C NO D DT
Os exemplos relacionados aos fármacos são apresentados com clareza.	CP C NO D DT
Eu não conhecia a importância da estereoquímica para área da farmácia.	CP C NO D DT
Nunca havia usado um software de visualização de moléculas.	CP C NO D DT
O uso do Chems sketch foi útil para que eu melhor compreendesse a estrutura 3D.	CP C NO D DT
Usar o Chems sketch foi simples, consegui fazer as tarefas sem complicações.	CP C NO D DT
A unidade de ensino permitiu que eu assimilasse melhor a teoria, os conceitos, as idéias da Estereoquímica.	CP C NO D DT
O estudo da Estereoquímica é importante para a formação dos químicos.	CP C NO D DT
O estudo da Estereoquímica é importante para os profissionais da área da saúde.	CP C NO D DT
A Estereoquímica é um assunto de difícil compreensão.	CP C NO D DT
Antes da leitura da Unidade, não tinha a menor noção da importância dessa área.	CP C NO D DT
Tenho a impressão de que aprendi bastante nesta unidade.	CP C NO D DT
Respondi o questionário com atenção.	CP C NO D DT

PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

04, 1223



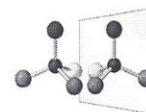
PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

GRADE DE RESPOSTAS

RESPOSTAS	JUSTIFICATIVA
1	
<input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> D	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
2	
<input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> B <input type="radio"/> C	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
3	
<input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
4	
<input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> D	<input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
5	
<input checked="" type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4

PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO
SALZANO VIEIRA DA CUNHA



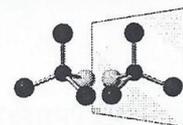
PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

Nº 20 - Turma 1223

GRADE DE RESPOSTAS

RESPOSTAS	JUSTIFICATIVA
1 <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> D	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
2 <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> C	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
3 <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
4 <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> C <input type="radio"/> D	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
5 <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D	<input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4

PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA



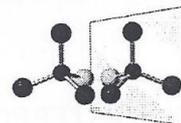
PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

Você conhece a história do desenvolvimento da estereoquímica? Então sobre essa história (fatos, descobertas, cientistas envolvidos etc.)

Sobre a história da estereoquímica podemos citar Wöhler e Berzelius.

Na história mostra que muitos cientistas não acreditaram na hipótese de uma molécula ter uma geometria diferente no espaço até que Wöhler provou o contrário com os seus estudos, e a partir daí começa-se o estudo dos isômeros quanto à sua ~~form~~ geometria espacial.

PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

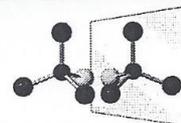


PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

Você conhece a história do desenvolvimento da estereoquímica? Então sobre essa história (fatos, descobertas, cientistas envolvidos etc.)

Podemos, através do projeto, observar e aprender mais sobre a história principalmente.

Pelo que lembro os estudos da estereoquímica tiveram seu início nos anos 80 com contribuições de Gay-Lussac, Berzélius (como instrutor), entre outros... onde os primeiros fatos sobre essas descobertas foram recebidos com descrédito, ganhando, ao longo do tempo, cada vez mais espaço com as descobertas dos desvios de luz polarizada, o caso de misturas racêmicas, etc



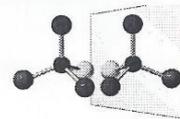
PÓS-TESTE ESTEREOQUÍMICA

Na estereoquímica, temos inúmeros exemplos que podem ser relacionados com nosso cotidiano. Você conhece algum exemplo? Escreva sobre os estereoisômeros que fazem parte do nosso dia-a-dia.

No nosso dia a dia temos isômeros que representam o sabor azedo do limão e o do par que representa o sabor da laranja.

Temos as plantas que dependendo dos isômeros uma cresce para um lado e a outra para o outro.

Questionário de avaliação da Unidade de Ensino



- Os conceitos são apresentados de forma clara. CP ~~C~~ NO D DT
 Os conceitos são de difícil compreensão/muito complexos. CP C NO ~~D~~ DT
 O texto é adequado para uso no Ensino Médio. ~~CP~~ C NO D DT
 O texto fornece uma visão da evolução da estereoquímica como ciência. CP C NO ~~D~~ DT
 Os conteúdos relacionados a parte histórica não despertaram meu interesse. CP C NO ~~D~~ DT
 Eu não conhecia nenhum fato histórico relacionado à área. CP C NO ~~D~~ DT
 Os exemplos relacionados ao cotidiano são apresentados com clareza. CP ~~C~~ NO D DT
 Eu não conhecia nenhum fato relacionado ao cotidiano. CP C NO ~~D~~ DT
 Os conteúdos relacionados ao cotidiano não despertaram meu interesse. CP C NO D ~~DT~~
 Os exemplos relacionados aos fármacos são apresentados com clareza. CP ~~C~~ NO D DT
 Eu não conhecia a importância da estereoquímica para área da farmácia. CP C NO D ~~DT~~
 Nunca havia usado um software de visualização de moléculas. ~~CP~~ C NO D DT
 O uso do ChemsSketch foi útil para que eu melhor compreendesse a estrutura 3D. ~~CP~~ C NO D DT
 Usar o ChemsSketch foi simples, consegui fazer as tarefas sem complicações. ~~CP~~ C NO D DT
 A unidade permitiu que eu assimilasse melhor os conceitos, da Estereoquímica. CP C ~~NO~~ D DT
 O estudo da Estereoquímica é importante para a formação dos químicos. ~~CP~~ C NO D
DT
 O estudo da Estereoquímica é importante para os profissionais da área da saúde. ~~CP~~ C NO D DT
 O estudo da Estereoquímica é importante para qualquer cidadão/para a formação científica de qualquer cidadão/ a nível de escola básico/ensino médio. CP C NO ~~D~~ DT
 A Estereoquímica é um assunto de difícil compreensão. CP C NO ~~D~~ DT
 Antes da leitura da Unidade, não tinha a menor noção da importância dessa área. CP C NO D ~~DT~~
 Tenho a impressão de que aprendi bastante nesta unidade. CP C ~~NO~~ D DT
 Respondi o questionário com atenção. CP ~~C~~ NO D DT