

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GLÁUCIA APARECIDA ANDRADE REZENDE

**ENSINO DE ESTEREOQUÍMICA:
CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DE UM MODELO
EM SALA DE AULA**

UBERLÂNDIA
2016

GLÁUCIA APARECIDA ANDRADE REZENDE

**ENSINO DE ESTEREOQUÍMICA:
CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DE UM MODELO
EM SALA DE AULA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química, do Instituto de Química, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Química.

Área de concentração: Educação em Química.

Orientador: Prof. Dr. Guimes Rodrigues Filho.

**UBERLÂNDIA
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

R467e Rezende, Gláucia Aparecida Andrade, 1980-
2016 Ensino de estereoquímica : construção e aplicação de um modelo em
sala de aula / Gláucia Aparecida Andrade Rezende. - 2016.
199 f. : il.

Orientador: Guimes Rodrigues Filho.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Química.
Inclui bibliografia.

1. Química - Teses. 2. Estereoquímica - Teses. 3. Quiralidade -
Teses. 4. Química - Ensino médio - Estudo e ensino - Teses. I. Rodrigues
Filho, Guimes. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de
Pós-Graduação em Química. III. Título.

CDU: 54



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA



**Ata da defesa de TESE DE DOUTORADO junto ao Programa de Pós-Graduação em Química,
do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia
DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM QUÍMICA, NÚMERO 56/PPQUI.**

DATA: 25/11/2016

DISCENTE: Gláucia Aparecida Andrade Rezende

MATRÍCULA: 11213QMI005

TÍTULO DO TRABALHO: Ensino de Estereoquímica: avaliação de modelo concreto em sala de aula.

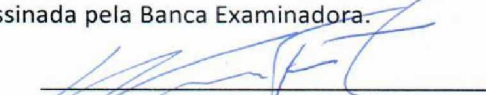
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Química

LINHA DE PESQUISA: Educação em Química.


PROJETO DE PESQUISA DE VINCULAÇÃO: Educação em Química e educação das relações étnico-raciais.

Às oito horas do dia vinte e cinco de novembro do ano dois mil e dezesseis, no Auditório Prof. Manuel Gonzalo Hernández Terrones, Bloco 5I, Campus Santa Mônica, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores Wagner Fontes, da Universidade De Brasília, Tatiana Aparecida Rosa da Silva, do Instituto Federal Goiano, Alexandra Epoglou e Viviani Alves de Lima, da UFU e Guimes Rodrigues Filho, orientador(a) e presidente da mesa. Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa apresentou o(a) candidato(a) e a Banca Examinadora, agradeceu a presença do público e discorreu sobre as normas e critérios para a realização desta sessão, baseadas na Norma Regulamentar nº 03/2013/PPQUI. Em seguida, o(a) presidente da mesa concedeu a palavra ao(a) candidato(a) para a exposição do seu trabalho e, em sequência, aos examinadores, em ordem sucessiva, para arguir o(a) apresentador(a). A duração da apresentação e o tempo de arguição e resposta deram-se conforme as normas do Programa. Ultimada a arguição, desenvolvida dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais e A provou o(a) candidata(o). Por sugestão da Banca Examinadora, o título do trabalho será ENSINO DE ESTEREOQUÍMICA: CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO de um modelo em sala de aula


Esta defesa de Tese de Doutorado é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor. O competente diploma será expedido após cumprimento do estabelecido nas normas do Programa, legislação e regulamentação internas da UFU. As correções observadas pelos examinadores deverão ser realizadas no prazo máximo de 60 dias. Nada mais havendo a tratar, deu-se por encerrada a sessão às 12 horas e — minutos e lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pela Banca Examinadora.


Prof. Dr. Wagner Fontes
UnB


Profª Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva
IFG


Profª Dra. Alexandra Epoglou
FACIP/UFU


Prof. Dr. Viviani Alves de Lima IQUFU


Professor(a) Orientador(a): Guimes Rodrigues Filho – IQUFU

À minha família, meu marido Douglas e minha filha Ellen, que sempre estão comigo, nos momentos de alegria e tristezas, me dando força, me obrigando a progredir sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, da inteligência, pela força que me deu, transformando um grande obstáculo em pequeno, para que eu pudesse transpô-lo.

Ao meu marido Douglas e minha filha Ellen, pela força, por compreenderem a ausência e, acima de tudo, pelo apoio e orientação para com meu trabalho. Se não fossem vocês, eu não estaria aqui realizando mais esta etapa importante em minha vida.

Aos meus pais, Moacir e Maria de Lourdes, por compreenderem meus sumiços, e pelas palavras certas nos momentos difíceis. Aos meus irmãos, Gleisson e Glauciana, pelo carinho, compreensão e motivação a mim dedicados.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Guimes Rodrigues Filho, pela orientação, confiança, apoio e a liberdade de trabalhar que deu a mim. Obrigada pelas contribuições que engrandeceram meu trabalho.

À minha coorientadora, Prof^a Dra. Nicéa Quintino Amauro, pela orientação, pelos cafés na padaria, pela paciência e direcionamentos. Obrigada pelas longas conversas por chat, sempre objetivando auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, pelos sorrisos nas horas difíceis, pelas risadas nos momentos de alegria, pelo carinho e compreensão em todos os momentos. Saibam que foram parte importante neste percurso, mesmo sem terem conhecimento disto.

Aos professores, pelo compartilhamento de seus conhecimentos e pela orientação profissional.

Aos professores da banca de defesa, por deixarem suas contribuições para meu crescimento profissional.

Ao IFG – Câmpus Itumbiara, por disponibilizar suas dependências e aos professores deste, pela ajuda e pelos incentivos.

A todos os participantes desta pesquisa, alunos e professores, que concordaram em doar um pouco de seu tempo para mim, para que eu pudesse

desenvolver meu trabalho.

Enfim, a todos que me apoiaram, incentivaram, estiveram ao lado, deixo a todos vocês o meu muito obrigada.

Talvez não existam palavras suficientes e significativas que me permitam agradecer a vocês com justiça, com o devido merecimento. A ajuda e o apoio de vocês foram para mim de valor inestimável, contudo, é tudo o que me resta, me expressar através da limitação de meras palavras, e com elas lhes prestar esta humilde, mas sincera, homenagem.

Muito obrigado! Com todo o carinho e de coração eu agradeço a vocês!

Autor desconhecido

Antes de nos atrevermos a censurar ou recomendar formas de uso, na sala de aula, de uma tecnologia decididamente incrustada na sociedade, devemos ser moderados e reconhecer que é necessário investigar o que ali se passa, com a única certeza de que buscamos respostas para perguntas que possam nos lançar para além da atmosfera conservadora que caracteriza os momentos de ruptura paradigmática.

Marcelo Giordan (2005).

RESUMO

Nas aulas que versam sobre o conceito de Estereoquímica, a maior dificuldade dos alunos é a visualização das moléculas em suas conformações espaciais. Para diminuir ou sanar essas dificuldades, os professores utilizam metodologias que auxiliam os alunos a visualizarem as moléculas, como o uso de modelos moleculares de mão, do tipo bola e vareta, jogos, multimídias e uso de softwares. Para o desenvolvimento desta metodologia, foi feito um estudo com professores do conteúdo de Estereoquímica, através de aplicação de questionário, a fim de saber quais eram as principais dificuldades que os mesmos enfrentam durante o ensino desse conteúdo. Também foi realizada uma entrevista semiestruturada abordando essa questão. As dificuldades relatadas pelos professores são as relacionadas com a visualização tridimensional das moléculas e suas diferentes conformações. Assim, elaborou-se uma estratégia didática, que consiste em representar estereoisômeros em sua fórmula em perspectivas e de Fischer. Tais estruturas foram elaboradas utilizando o software ChemSketch (ACD/ChemSketch Freeware, 2010), impressas em folhas A4 e em transparências, a fim de que o aluno pudesse visualizar as formas espaciais das moléculas e as alterações na configuração dos isômeros. Coletadas essas informações, a proposta metodológica foi feita e aplicada para alunos do terceiro ano do curso Técnico Integrado Integral de Química do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de Goiás (IFG), Câmpus Itumbiara. Os alunos também responderam a um questionário sobre a estratégia aplicada em sala de aula, além de resolverem uma atividade na qual era solicitada a transição entre as estruturas bidimensionais e tridimensionais. Na análise das respostas, pôde-se evidenciar que a metodologia cumpre com seu propósito, uma vez que auxiliou os alunos a compreenderem a Estereoquímica visualizando as estruturas tridimensionais. Vale ressaltar que os alunos ainda apresentavam dificuldades em transpor estruturas bidimensionais em tridimensionais (e vice-versa). Os resultados também mostraram que, entre os modelos utilizados em sala (impresso e o molecular), o modelo impresso é o preferido pelos alunos para melhorar seu entendimento no estudo de isomeria. Os professores que participaram desta pesquisa avaliaram o modelo como viável e passível de ser utilizado em sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de Estereoquímica, quiralidade, metodologia de ensino.

ABSTRACT

In classes that deal with the concept of Stereochemistry, the students' greatest difficulty is the visualization of the molecules in their spatial conformations. In order to reduce or remedy these difficulties, teachers use methodologies that help students visualize molecules, such as the use of molecular handheld models such as ball and rod, games, multimedia, and software. For the development of this methodology, a study was conducted with teachers of the content of Stereochemistry, through a questionnaire, in order to know what were the main difficulties that they face during the teaching of this content. A semi-structured interview was also conducted on this issue. The difficulties reported by teachers are those related to the three-dimensional visualization of molecules and their different conformations. Thus, a didactic strategy was elaborated to represent Fischer and Perspectives formula stereoisomers. These structures were elaborated using ChemSketch software (ACD / ChemSketch Freeware, 2010), printed on A4 sheets and transparencies, so that the student can visualize the spatial forms of the molecules and the changes in the configuration of the isomers. The methodological proposal was collected and applied to students of the third year of the Integral Integrated Chemistry Technician course at the Federal Institute of Science and Technology of Goiás (IFG), Itumbiara Campus. The students also answered a questionnaire about the strategy applied in the classroom, besides solving an activity in which the transition between the two-dimensional and three-dimensional structures was requested. In the analysis of the answers, it can be evidenced that the methodology fulfills its purpose, since it helped the students to understand the Stereochemistry visualizing the three-dimensional structures. It is noteworthy that students still had difficulties in transposing two-dimensional structures into three-dimensional (and vice versa). The results also showed that, among the models used in the classroom (printed and molecular), the printed model is preferred by students to improve their understanding in the study of isomerism. The teachers who participated in this research evaluated the model as viable and that can be used in the classroom.

Keywords: Stereochemistry of teaching, chirality, teaching methodology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	A conformação tridimensional em projeção em perspectiva (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).....	27
Figura 2:	A conformação bidimensional da molécula do ácido tartárico representado em projeção de Fischer (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).....	28
Figura 3:	Exemplo de representação que indica a orientação dos grupos para a projeção de Fischer (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).	28
Figura 4:	Transposição da estrutura tridimensional em bidimensional (Projeção de Fischer).	28
Figura 5:	Subdivisão dos isômeros (KLEIN, 2016, p. 190).	30
Figura 6:	Exemplos de isômeros geométricos de cadeia aberta A - cis; B - trans (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).	31
Figura 7:	Exemplos de isômeros geométricos de cadeia fechada: A - cis; B - trans (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).	32
Figura 8:	Exemplo de um carbono assimétrico (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).....	32
Figura 9:	Carbonos assimétricos presentes na estrutura do ácido tartárico (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).	33
Figura 10:	Estereoisômeros do ácido tartárico.	33
Figura 11:	Compostos enantioméricos e sua não sobreposição (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).....	34
Figura 12:	Plano de simetria de um isômero do ácido tartárico: divide a molécula em duas metades que são imagens especulares entre si (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).....	34
Figura 13:	Estruturas de mesocompostos e sua sobreposição (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).....	35
Figura 14:	Ondas de luz, onde os campos magnético e elétrico oscilam perpendicularmente entre si (KLEIN, 2016, p. 206).	36
Figura 15:	Feixe de luz passando pelo polarímetro. (A) Luz não polarizada. (B) Luz polarizada (KLEIN, 2016, p. 206; CORDEIRO, 2012).....	36
Figura 16:	Esquema do funcionamento de um filtro polarizador (CORDEIRO, 2012, p. 5).....	37
Figura 17:	(a) Molécula aquiral. (b) Molécula quiral. (SOLOMONS; FRYHLE, 2012, p. 199).....	39
Figura 18:	Estrutura cristalina de tartarato de sódio e amônio, isolado por Pasteur (DIAS; SOARES, 2009; GONSALVES; SERRA; EUSÉBIO, 2011).	43
Figura 19:	Arranjos espaciais, do tipo quadrado planar, propostos por Van't Hoff (Adaptado de VAN'T HOFF, 1874, p. 446).....	45

Figura 20: Arranjo espacial do tipo tetraedro proposto por Van't Hoff (Adaptado de VAN'T HOFF, 1874, p. VII).	46
Figura 21: Modelo de modelagem proposto por Justi e Gilbert (2002), apud Ferreira (2006, p. 17).	52
Figura 22: Modelo pau e bola.	55
Figura 23: Placa que orienta método de segurança ao manipular produtos químicos	57
Figura 24: Símbolo utilizado para indicar material radioativo.	57
Figura 25: Átomos do modelo de Hofmann e construção da molécula do gás metano utilizando o modelo (HOFMANN, 1862-6, p. 426).	59
Figura 26: Modelo de bolas e varetas de Hofmann, datado de 1865, do metano (CH_4). (WIKIPÉDIA, 2013).	60
Figura 27: Estrutura do benzeno representada pelo modelo molecular proposto por Kekulé (KEKULÉ, 1867, p. 218).	61
Figura 28: Modelo tetraédrico proposto por Van't Hoff (ROQUE; SILVA, 2008 apud SOUZA, 2012a, p. 17).	61
Figura 29: Modelo proposto por Minné, em 1929 (APPELT; OLIVEIRA; MARTINS, 2009, p. 9).	62
Figura 30: Esqueleto carbônico das estruturas propostas por Brode e Boord (1932) ilustrando ligações simples, duplas e triplas entre carbonos.	62
Figura 31: Modelo molecular proposto por Black e Dole (1941), no qual os átomos são unidos por botões de pressão.	63
Figura 32: Modelos feitos por Tanaka (1957), utilizando cera, para moldar os átomos. Esquerda: hexano; direita: etileno.	63
Figura 33: Modelo molecular produzido por Brumlik, Barret e Baumgalten (1964). Os átomos são metálicos	64
Figura 34: Confeção do modelo tetraédrico proposto por He, Liu e Li (1990).	64
Figura 35: Estruturas da D-(-)-ribose (A) e da D-(+)-xilose (B).	72
Figura 36: Estruturas dos ácidos maleico e fumárico (BRUICE, 2006, p. 228).	80
Figura 37: Estruturas do ácido oleico e do ácido elaídico (adaptado de KLEIN, 2016, p. 496).	81
Figura 38: Estruturas dos estereoisômeros [(+) e (-)] da talidomida (adaptado de SOUZA, 2012b, p. 51).	81
Figura 39: Estruturas dos estereoisômeros Darvon e Novrad (adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012, p. 189).	82
Figura 40: Formas enantioméricas do (+) e (-)-ibuprofeno (KLEIN, 2016, p. 205).	83
Figura 41: Estruturas dos estereoisômeros da carvona (adaptado de KLEIN, 2016, p. 199).	84

Figura 42: Formas enantioméricas do limoneno (adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012, p. 197).	85
Figura 43: Gráfico sobre o tempo de exercício dos professores participantes.	102
Figura 44: Tempo que os professores lecionam a disciplina de Química Orgânica	102
Figura 45: Titulação dos professores que participaram da pesquisa.	103
Figura 46: Estereoisômeros do ácido tartárico em fórmula de perspectiva utilizadas no modelo das transparências.....	111
Figura 47: Rotação espacial dos estereoisômeros B ₁ e E ₁	111
Figura 48: Disposição das moléculas desenhadas em fórmula em perspectiva. ..	112
Figura 49: Estruturas em fórmula em perspectiva equivalentes às de projeção de Fischer.	112
Figura 50: Estruturas dos estereoisômeros em projeção de Fischer do ácido tartárico.	113
Figura 51: Representação da comparação do isômero do ácido tartárico e sua imagem especular.	113
Figura 52: Representação da sobreposição dos dois estereoisômeros do ácido tartárico utilizando o modelo das transparências.	114
Figura 53: Representação da comparação um isômero do ácido tartárico e sua imagem especular (estrutura rotacionada em 180° na horizontal).	114
Figura 54: Representação da sobreposição dos dois estereoisômeros do ácido tartárico utilizando o modelo das transparências.....	115
Figura 55: Estrutura desenhada no plano pelo aluno A45.	123
Figura 56: Estrutura tridimensional desenhada pelo aluno A52.....	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Vantagens e desvantagens de modelos comerciais e alternativos que são propostos na literatura.	56
Quadro 2: Exemplos de fármacos comercializados opticamente puros	84
Quadro 3: Perfil dos professores participantes da pesquisa.	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Å - Ångström

CaCO₃ - carbonato de cálcio

CH₄ - metano

IFG - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás

in - polegada

PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PNLD - Programa Nacional de Livro Didático

VMD - Visual Molecular Dynamics®

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	JUSTIFICATIVA.....	20
1.2	OBJETIVOS.....	22
1.2.1	Objetivo geral.....	22
1.2.2	Objetivos específicos	22
2	O PROCESSO DE ENSINO	24
3	ESTEREOQUÍMICA	26
3.1	REPRESENTAÇÕES DOS ESTEREOISÔMEROS	26
3.1.1	Representação em Fórmula em perspectiva.....	26
3.1.2	Representação em Projeções de Fischer	27
3.2	CONCEITOS DE ESTEREOQUÍMICA.....	29
3.2.1	O fenômeno de isomeria e suas subdivisões	29
3.3	ISOMERIA ÓPTICA	32
3.3.2	Atividade óptica	35
3.4	QUIRALIDADE	38
3.5	HISTÓRIA DA ESTEREOQUÍMICA.....	39
4	OS MODELOS	48
4.1	O QUE É UM MODELO?	48
4.2	CONSTRUÇÃO DOS MODELOS	51
4.3	TIPOS DE MODELOS	55
4.3.1	Modelo Concreto	55
4.3.2	Verbal	57
4.3.3	Visual.....	57
4.3.4	Virtual	58
4.3.5	Modelos mistos.....	58
4.4	A EVOLUÇÃO DOS MODELOS MOLECULARES.....	59
5	O ENSINO DE ESTEREOQUÍMICA.....	66
5.1	AS DIFICULDADES NO ENSINO DE ESTEREOQUÍMICA	66
5.2	O USO DE MODELOS NO ENSINO.....	73
5.2.1	O uso de modelo no ensino de Estereoquímica	73
5.3	POR QUE ESTUDAR ESTEREOQUÍMICA?	79

6	METODOLOGIA	87
6.1	LOCAL DA PESQUISA.....	90
6.2	A COLETA DE DADOS	91
6.2.1	Levantamento das dificuldades que são encontradas no ensino de Estereoquímica	91
6.2.2	Construção do modelo proposto.....	94
6.2.3	Verificação da viabilidade do modelo proposto	96
6.3	SOBRE OS TERMOS DE CONSENTIMENTOS	99
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
7.1	LEVANTAMENTO DAS DIFICULDADES QUE SÃO ENCONTRADAS NO ENSINO DE ESTEREOQUÍMICA	100
7.1.1	Aplicação de questionários aos professores.....	100
7.1.2	Entrevista semiestruturada com professores	109
7.2	CONSTRUÇÃO DO MODELO PROPOSTO	110
7.3	VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DO MODELO PROPOSTO	115
7.3.1	Utilização do Modelo Proposto e Aplicação de Questionário para os Alunos	116
7.3.2	Atividade aplicada aos alunos	123
7.3.3	Apresentação do Modelo e Entrevista Semiestruturada com os Professores	125
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
10	APÊNDICE.....	150
	Apêndice 1: Questionário aplicado aos professores	150
	Apêndice 2: Termo de consentimento da aplicação do questionário aos professores..	154
	Apêndice 3: Roteiro da entrevista semiestruturada dos professores.....	155
	Apêndice 4: Termo de consentimento da participação dos professores na etapa da entrevista semiestruturada.....	156
	Apêndice 5: Plano de aula.....	157
	Apêndice 6: Questionário aplicado aos alunos	160
	Apêndice 7: Termo de consentimento solicitado aos alunos que responderam o questionário.	162
	Apêndice 8: Atividade aplicada aos alunos.....	163

Apêndice 9: Termo de consentimento para a atividade aplicada aos alunos.....	164
Apêndice 10: Roteiro da entrevista semiestruturada aplicada aos professores sobre o modelo das transparências.	165
Apêndice 11: Termo de consentimento da entrevista semiestruturada aplicada aos professores sobre o modelo das transparências.	166
Apêndice 12: Transcrição da entrevista sobre a aula de Estereoquímica do professor P3.	167
Apêndice 13: Transcrição da entrevista sobre a aula de Estereoquímica do professor P5.	170
Apêndice 14: Transcrição da entrevista sobre a aula de Estereoquímica do professor P19.	173
Apêndice 15: Transcrição da entrevista sobre a aula de Estereoquímica do professor P20.	176
Apêndice 16: Transcrição da entrevista sobre a aula de Estereoquímica do professor P21.	179
Apêndice 17: Transcrição da entrevista sobre o modelo proposto do professor P3. ...	182
Apêndice 18: Transcrição da entrevista sobre o modelo proposto do professor P5. ...	185
Apêndice 19: Transcrição da entrevista sobre o modelo proposto do professor P19. .	187
Apêndice 20: Transcrição da entrevista sobre o modelo proposto do professor P20. .	191
Apêndice 21: Transcrição da entrevista sobre o modelo proposto do professor P21. .	195

1 INTRODUÇÃO

As pesquisas sobre o processo de ensino-aprendizagem aparecem como um meio de compreender situações vividas em sala, onde problemas de aprendizado são levantados e estudados, e possíveis soluções são apresentadas como forma de aprimorar o processo de aprendizagem. Com os resultados das pesquisas em mãos, é possível propor ações, construir novos métodos de ensino ou até mesmo aprimorar os já conhecidos, de forma que contribuam para a evolução de ideias que possam ser aceitas pelos alunos, auxiliando-os a construir seus próprios conhecimentos (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995; ROSA; SCHNETZLER, 1998; SILVA; ZANON, 2000).

Para o ensino de Estereoquímica, é necessário que as representações espaciais das moléculas sejam dinâmicas, facilitando a compreensão do aluno e aprimorando a visualização tridimensional do mesmo (SEDDON; SHUBBER, 1985; SEDDON; MOORE, 1986; TUCKEY; SELVARATNAM; BRADLEY, 1991), não se limitando apenas à transmissão de conhecimentos através da disponibilização de informações, uma vez que, com o avanço tecnológico, é possível introduzir metodologias que auxiliem o aluno a compreender uma conformação molecular tridimensional (BONILLA, 2005).

Partindo do que foi exposto acima, dividimos nosso trabalho em capítulos, conforme descrevemos a seguir.

No capítulo “O Processo de Ensino”, falamos sobre aprendizagem, expondo definições de termos utilizados.

No capítulo “Estereoquímica”, expomos sobre conceitos e terminologias utilizadas no ensino de Isomeria Óptica, necessárias para o entendimento desse tópico. Abordamos também quais são suas divisões e classificações, além de mostrar quais são as principais representações que são utilizadas para desenhar uma estrutura molecular.

No capítulo “Modelos”, explicamos o que é um modelo e quais são os principais tipos. Também mostramos quais as etapas que devem ser seguidas na construção e proposição de um novo modelo.

No capítulo sobre “O Ensino de Estereoquímica” falamos sobre o processo de ensino e apresentamos uma revisão da literatura sobre as dificuldades encontradas pelos alunos no processo de ensino-aprendizagem e sugestões de técnicas utilizadas por diferentes pesquisadores para o ensino desse conteúdo de Estereoquímica. Falamos também da evolução dos modelos moleculares, bem como da sua utilização em sala de aula, como um facilitador no processo de ensino. Outro tópico que abordamos é a presença dos isômeros em nosso dia a dia, como os mesmos se apresentam e qual a sua importância.

No capítulo “Metodologia”, expomos os métodos que usamos para desenvolver nossa pesquisa, como a mesma foi elaborada e aplicada, a coleta de dados e sua análise.

Em “Resultados e Discussão”, indicamos os resultados obtidos na nossa pesquisa, fazendo uma análise desses dados, verificando a viabilidade de aplicação e reprodução da técnica utilizada, bem como discutindo dificuldades encontradas.

Nas “Considerações finais”, apresentamos o que concluímos, com base nos resultados encontrados na pesquisa, como quais foram as dificuldades encontradas, objetivando verificar se a metodologia aqui proposta facilita o aprendizado de Estereoquímica.

1.1 JUSTIFICATIVA

Vários métodos são utilizados por professores a fim de melhorar o aprendizado por parte do aluno, sendo que muitos desses métodos são inventados pelos próprios professores, que utilizam os mais diversos materiais e tecnologias disponíveis, e relacionam os conhecimentos químicos com as tecnologias atuais, aproximando, dessa forma, o ensino de química dos fatos do dia a dia do aluno, resgatando conhecimentos esquecidos e/ou não adquiridos.

Assim, o professor pode propor pesquisas baseando-se em sua experiência em sala de aula, visando entender dificuldades de aprendizado apresentadas pelos alunos ou pelos professores quando ensinam determinado conteúdo.

Desta forma, pesquisas sobre metodologias de ensino se fazem

necessárias, devendo ser incentivadas e estudadas. É relevante buscar métodos que auxiliem o professor e o aluno no processo de ensino-aprendizagem.

Como leciono a disciplina de Química Orgânica, pude presenciar as dificuldades que os alunos apresentam para aprenderem isomeria, principalmente a isomeria óptica: por se tratar de um conteúdo teórico e abstrato, para sua compreensão o aluno precisa entender como a molécula é no espaço e as diferentes conformações que a mesma pode assumir.

Em conversas informais em sala com os alunos do Curso de Licenciatura em Química, percebi que a maioria de suas dificuldades estava relacionada com a base recebida no Ensino Médio, quando não entendiam o conteúdo e apenas decoravam conceitos e os repetiam em suas provas, a fim de obterem nota para serem aprovados. Tais dificuldades relatadas pelos alunos estavam relacionadas à capacidade individual de visualização tridimensional, à transformação de um objeto tridimensional em bidimensional. Contribuem também para o surgimento de dificuldades os conceitos desse conteúdo, que são apresentados e que os alunos não compreendem muito bem.

Diante desse cenário, percebe-se que as principais dificuldades enfrentadas no ensino do conteúdo de Estereoquímica estão relacionadas com a visualização da estrutura das moléculas no espaço bem como com o entendimento, a interpretação e a conversão entre as representações tridimensionais em bidimensionais.

Consequentemente, torna-se necessário investigar o ensino de Estereoquímica, para entender quais são as principais dificuldades que o professor encontra ao ensinar esse conteúdo e o aluno para aprendê-lo, a fim de propor intervenções que possam contribuir neste processo de ensino-aprendizagem.

As questões que direcionaram este trabalho são: Quais as principais dificuldades encontradas por professores e alunos no ensino de Estereoquímica e como a proposição de um modelo concreto visual pode auxiliar na questão da visualização da estrutura tridimensional?

A principal contribuição deste trabalho é criar meios alternativos para o ensino de Estereoquímica, aumentando a oferta de metodologias e recursos

disponíveis para serem utilizados por professores, com a finalidade de contribuir com as visualizações espaciais de estereoisômeros para o entendimento dos pormenores do conteúdo de Estereoquímica, uma vez que propõe um método que auxilia o aluno na compreensão entre as nuances do domínio espacial e na manipulação das representações dos estereoisômeros em suas fórmulas de projeções em perspectivas e de Fischer, facilitando a visualização das estruturas moleculares tridimensionais.

1.2 OBJETIVOS

Diante do exposto, propõe-se como objetivos geral e específicos para este trabalho de pesquisa o que segue.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é:

Desenvolver e aplicar uma metodologia que auxilie o processo de ensino-aprendizagem dos alunos sobre Estereoquímica.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- ✓ Identificar quais são as dificuldades encontradas por professores e alunos no ensino do conteúdo de Estereoquímica;
- ✓ Relatar quais são as metodologias utilizadas pelos professores quando ensinam esse conteúdo;
- ✓ Relacionar o ensino de Estereoquímica com fatos do dia a dia do aluno;
- ✓ Propor um modelo concreto visual que auxilie o aluno na compreensão das representações tridimensionais e bidimensionais das moléculas;
- ✓ Apresentar o modelo proposto aos professores;

- ✓ Aplicar o modelo em sala de aula;
- ✓ Avaliar a aceitação do novo modelo pelos professores e alunos envolvidos nesta pesquisa;
- ✓ Disponibilizar um kit do modelo proposto para os professores entrevistados.

2 O PROCESSO DE ENSINO

“Aprender é um processo que se dá no decorrer da vida, permitindo-nos adquirir algo novo em qualquer idade” (BOCK; FURTADO; TEIXEIRA, 2001, p. 150).

A aprendizagem pode ser considerada um processo construtivista, no qual a pessoa constrói seu próprio conhecimento, relacionando o que já sabe com as novas informações que são adquiridas, quando esta interage com o mundo (JUSTI, 2003).

Segundo Driver (1989), é um processo em que se estabelecem relações mentais entre o que se tem e o que se ganha.

Ainda de acordo com Driver (1989), pode-se dizer que a aprendizagem depende de três aspectos: o que o aluno já sabe; as características da situação de aprendizagem em si; e a natureza das relações que são estabelecidas.

Morin (2003) afirma que o processo de ensino deve se basear na criação de situações que estimulem a aptidão natural da mente, levando-a a criar e resolver problemas, estimulando o uso da inteligência. Freire e Oliveira (2001) enfatizam que se deve ensinar e não transmitir conhecimentos prontos.

Contrário a essa ideia de construção de aprendizagem, o ensino de Química Orgânica no Ensino Médio é feito de forma que os conhecimentos são repassados pelos professores e recebidos pelos alunos, que, muitas vezes, não entendem o que lhes é explicado (SOUZA; SILVA, 2012).

Nosso ensino de química tradicional é fruto, na maioria das vezes, de um processo histórico de repetição de fórmulas que são bem sucedidas do ponto de vista didático – fazer com o aluno aprenda alguns conceitos relacionados à química, transformando a disciplina num manejo de pequenos rituais (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000, p. 274).

Esse tipo de ensino pode inibir o processo de aprendizagem, levando muitos alunos a questionarem por que devem aprender tal conteúdo (MILLAR; 2003), em que o conhecimento adquirido é baseado na memorização de dados, o que o torna fragmentado e difuso (FERREIRA, 2006).

De acordo com Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN),

(...) o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla, desenvolvendo meios para a interpretação de fatos naturais, a compreensão de procedimentos e equipamentos do cotidiano social e profissional, assim como para a articulação de uma visão do mundo natural e social (BRASIL, 2000, p. 7).

Para Migliato Filho (2005), os conhecimentos químicos de um aluno se desenvolvem quando este interage com o mundo cotidiano.

Soares, Okumura e Cavaleiro (2003) afirmam que é necessário estimular os alunos a se interessarem pelas aulas de Química. E é o professor que desempenhará esse resgate, desenvolvendo estratégias simples, que dinamizem o aprendizado em Química.

Aprender Química, segundo Lemke (1997) e Martins (1997), é aprender a usar, compreender e se expressar na linguagem dessa ciência, em que o conhecimento se processa pelas palavras ditas, as fórmulas escritas, as práticas realizadas.

3 ESTEREOQUÍMICA

Para se propor algo novo ou alguma solução para um problema, deve-se, primeiramente, conhecer o assunto que tal problema aborda. Isso auxilia na compreensão dos eventos envolvidos no mesmo e, tendo-se esse conhecimento, muitos erros podem ser minimizados.

Pensando assim, neste capítulo serão mostradas as principais representações das moléculas que são utilizadas, bem como conceitos, definições e terminologias que se fazem necessários para a compreensão do conteúdo de Estereoquímica. Também será feito um breve histórico, relatando os principais eventos e descobertas sobre esse tema.

3.1 REPRESENTAÇÕES DOS ESTEREOISÔMEROS

Para desenhar os estereoisômeros, é necessário inicialmente entender como essas substâncias podem ser representadas. Existem duas maneiras principais de desenhar um composto quiral. Podem-se utilizar as fórmulas em perspectiva ou as projeções de Fischer.

3.1.1 Representação em Fórmula em perspectiva

Segundo Bruice (2006), a maioria dos químicos desenha as estruturas moleculares usando a fórmula de projeção em perspectiva.

A fórmula de perspectiva consiste em um arranjo tridimensional da molécula, que mostra dois dos ligantes do carbono quiral no plano do papel, um ligante saindo do plano do papel para trás do mesmo e um ligante saindo do plano do papel, projetando-se para frente do plano (BRUICE, 2006).

A figura 1 mostra uma representação da molécula do ácido tartárico em fórmula de projeção em perspectiva.

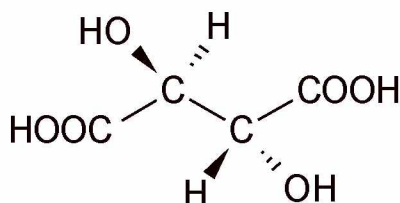


Figura 1: A conformação tridimensional em projeção em perspectiva (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Analisando a figura 1, verifica-se que se têm três representações diferentes para as ligações do composto. De acordo com Bruice (2006), Solomons e Fryhle (2012), podem-se definir as ligações como:

- ✓ (—): é uma ligação simples, que representa as ligações que estão no plano do papel;
- ✓ (.....): chamada de cunha tracejada, ela representa a ligação que está saindo do plano do papel para trás do mesmo, se distanciando do observador;
- ✓ (—▴): chamada de cunha sólida, ela representa a ligação que está saindo do plano do papel, projetando-se para frente do plano, se aproximando do observador.

3.1.2 Representação em Projeções de Fischer

Outra maneira de representar as estruturas tridimensionais dos compostos é utilizando a chamada projeção de Fischer.

Essa outra representação é mais utilizada quando se trabalha com substâncias que apresentam muitos carbonos quirais em sua estrutura (KLEIN, 2016). Este recurso foi inventado, em 1891, pelo químico alemão Emil Fischer (1852 - 1919) (BRUICE, 2006), enquanto investigava açúcares, que apresentam múltiplos centros de quiralidade. De modo a possibilitar uma rápida representação dessas substâncias, ele desenvolveu um método mais rápido para representar centros de quiralidade (KLEIN, 2016), que representam a estrutura do carbono quiral (tridimensional) no plano do papel (bidimensional).

A figura 2 mostra a estrutura molecular do ácido tartárico representado na fórmula de projeção de Fischer.

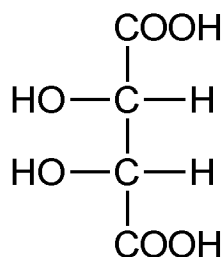


Figura 2: A conformação bidimensional da molécula do ácido tartárico representado em projeção de Fischer (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Para tal representação, o carbono quiral fica na intersecção de duas linhas perpendiculares, sendo que as linhas verticais saem do plano para trás, se afastando do observador, e as linhas horizontais se projetam para frente do plano, se aproximando do observador, como apresentado na figura 3 (McMURRY, 2011).

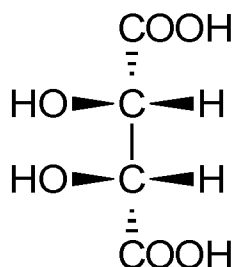


Figura 3: Exemplo de representação que indica a orientação dos grupos para a projeção de Fischer (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

A interconversão entre a estrutura em fórmula de projeção em perspectiva em fórmula em projeção de Fischer (ou vice-versa) consiste em uma alteração da conformação da molécula, através da rotação em torno de uma ligação simples, uma vez que a barreira de energia é muito baixa para impedir a interconversão dessas duas conformações (KLEIN, 2016). A figura 4 mostra como essa transposição pode ser feita.

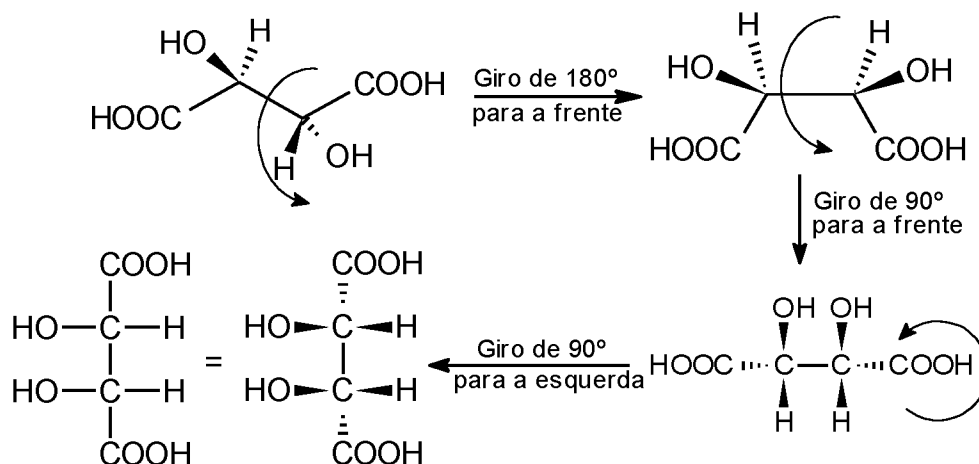


Figura 4: Transposição da estrutura tridimensional em bidimensional (Projeção de Fischer).

Nas projeções de Fischer, as cadeias são desenhadas de cima para baixo, na vertical. Gira-se a molécula até que as ligações carbono-carbono fiquem no plano, ou orientadas para trás (cunha tracejada), e os outros ligantes fiquem voltados para frente (cunha sólida). Para conseguir a projeção de Fischer, basta desenhar a estrutura, trocando as cunhas sólidas e tracejadas por ligações no plano (SOLOMONS, FRYLE, 2012).

As projeções de Fischer possuem limitações, uma vez que não se podem manuseá-las fora do plano, o que pode induzir a erro (SOLOMONS, FRYLE, 2012).

3.2 CONCEITOS DE ESTEREOQUÍMICA

A compreensão das relações espaciais presentes em compostos iônicos e moleculares auxilia o entendimento adequado sobre a reatividade e sobre as propriedades físico-químicas da matéria (DIAS; SOARES, 2009). Vinculadas a essa concepção, é possível identificar várias substâncias formadas pelos mesmos elementos químicos, tanto em tipo quanto em quantidade.

3.2.1 O fenômeno de isomeria e suas subdivisões

Isomeria é um fenômeno de acordo com o qual compostos diferentes apresentam a mesma fórmula molecular (SOLOMONS; FRYHLE, 2012). Ocorre em várias moléculas, principalmente em moléculas orgânicas, uma vez que as longas cadeias de carbono favorecem inúmeras combinações. É pouco frequente em compostos inorgânicos (FONSECA, 2001).

Para tipificar esse comportamento, podem-se comparar os átomos com letras do alfabeto e a composição de palavras com fórmulas unitárias. Assim, para escrever a palavra ROMA, utiliza-se uma letra R, uma letra O, uma letra M e uma letra A. Utilizando essas mesmas quatro letras, podem-se escrever outras palavras, tais como AMOR, RAMO, OMAR, MORA e ORAM, apenas alterando a sequência segundo a qual elas se conectam. Por outro lado, existem moléculas com a mesma fórmula molecular, mas que, apesar de terem a mesma constituição, diferem no arranjo dos seus átomos no espaço. Esse fenômeno é denominado de isomeria e os compostos, de isômeros (SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Os isômeros podem ser divididos em duas categorias, de acordo com a figura 5 (BRUICE, 2006).

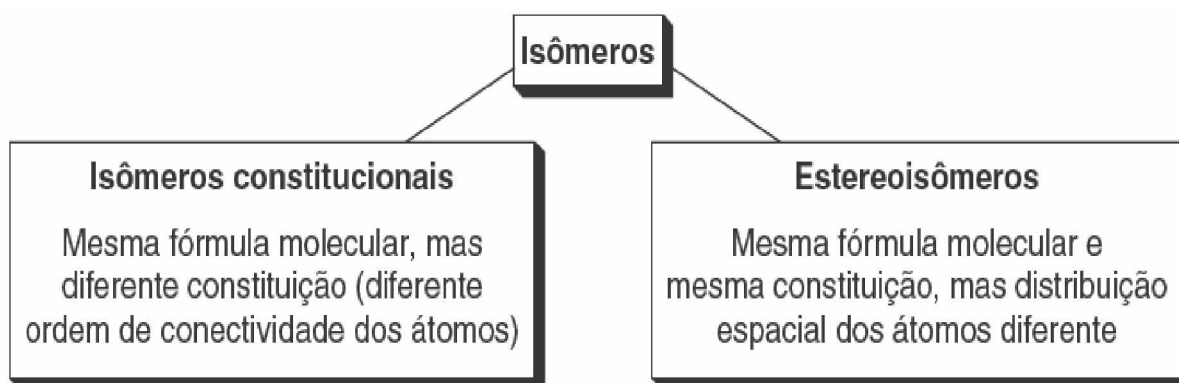


Figura 5: Subdivisão dos isômeros (KLEIN, 2016, p. 190).

Os isômeros de constituição são aqueles que apresentam a mesma fórmula molecular, mas seus átomos estão conectados de forma diferente na molécula, o que faz com que a sequência dos carbonos na cadeia seja alterada (BRUICE, 2006).

Pode-se citar, como exemplo de isômeros constitucionais, o álcool etílico e o éter dimetílico: ambos apresentam a mesma quantidade de elementos em suas estruturas, mas a conectividade dos átomos em cada uma dessas substâncias é diferente (BRUICE, 2006).

Já os isômeros que mantêm a mesma conectividade entre seus átomos, mas diferem no arranjo espacial dos mesmos são denominados isômeros espaciais, estereoisômeros ou isômeros configuracionais (BRUICE, 2006).

Os estereoisômeros possuem centro estereogênico¹, que é um átomo que, quando se altera a posição espacial de dois grupos quaisquer ligados ao centro de quiralidade, produz outro estereoisômero (BRUICE, 2006; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Os estereoisômeros ainda podem ser divididos em dois grupos: os isômeros geométricos e os isômeros ópticos (SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

¹ Em 1996, a IUPAC recomendou que um átomo de carbono tetraédrico possuindo quatro grupos diferentes seja chamado de centro de quiralidade. Muitos outros nomes ainda em uso comum incluem centro quiral, estereocentro, centro estereogênico e centro assimétrico (KLEIN, 2016, p. 194).

Os isômeros geométricos, também conhecidos como isômeros cis-trans, ocorrem quando há uma limitação na rotação da ligação. Essa limitação pode ocorrer quando o composto, de cadeia aberta, apresentar uma ligação dupla ou quando um composto for de cadeia fechada. Além da limitação da rotação, os isômeros cis-trans devem possuir ligantes diferentes nos carbonos limitados na rotação (BRUICE, 2006; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Para identificar os isômeros geométricos, deve-se determinar a prioridade dos ligantes e verificar sua posição em relação à ligação dupla ou ao anel. Essa prioridade é determinada pelo número atômico do átomo ligado ao carbono analisado: o ligante que possuir o elemento com maior número atômico ligado ao carbono em análise terá a maior prioridade entre os grupos (BRUICE, 2006; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Assim, quando o composto possuir grupos idênticos, ou de maior prioridade, do mesmo lado da ligação dupla, o isômero é chamado de cis (FIGURA 6A), enquanto que o composto que apresenta grupos idênticos, ou de maior prioridade, em lados opostos da dupla ligação são denominados isômeros trans (FIGURA 6B) (ROMERO, 1998; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

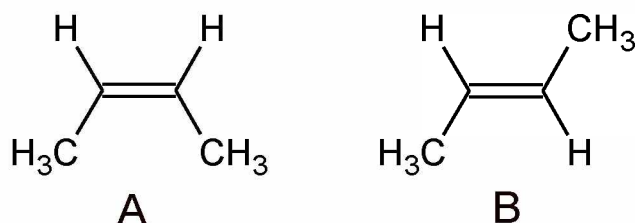


Figura 6: Exemplos de isômeros geométricos de cadeia aberta A - cis; B - trans (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

No caso dos compostos de cadeia fechada, imagina-se um plano de referência sobre a ligação (destacada em vermelho na figura 7). Se os dois substituintes idênticos, ou de maior prioridade, um em cada carbono, estiverem apontando para a mesma face do plano, o isômero é cis (FIGURA 7A). Caso os ligantes apontem para faces distintas do anel, então o isômero é trans (FIGURA 7B) (SOUTO; DUARTE, 2006; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

A figura 7 mostra exemplos de isômeros geométricos, ou cis-trans, em compostos de cadeia fechada.

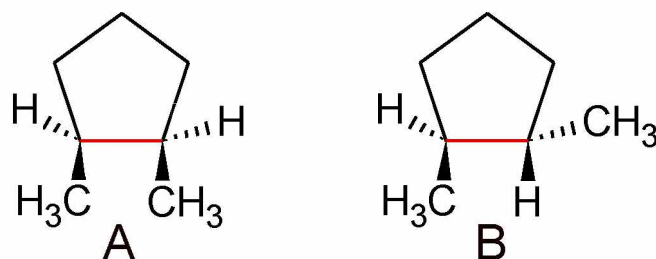


Figura 7: Exemplos de isômeros geométricos de cadeia fechada: A - cis; B - trans
(Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

3.3 ISOMERIA ÓPTICA

Este tipo de isomeria ocorre com maior frequência na Química Orgânica, devido à possibilidade de o átomo de carbono formar várias ligações com diferentes arranjos. Essas moléculas devem apresentar pelo menos um centro de quiralidade, também chamado de carbono quiral ou assimétrico.

O carbono assimétrico apresenta hibridização sp^3 com geometria tetraédrica, sendo os seus quatro ligantes diferentes entre si. Em uma representação da molécula, o carbono quiral vem marcado com um (*) (asterisco), como apresentado na Figura 8 (BRUICE, 2006).

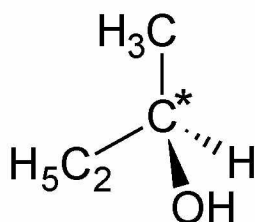


Figura 8: Exemplo de um carbono assimétrico (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Voltando à explicação sobre carbono quiral, é possível prever o número de isômeros ópticos que podem existir para um determinado composto quiral. De acordo com Bruice (2006) e McMurry (2011), para cada carbono quiral existente na molécula, podem ser desenhados dois estereoisômeros, sendo um representando o composto da direita e o outro da esquerda. Dessa forma, pode-se definir o número de isômeros ópticos através da fórmula 2^n , onde n é o número de carbonos quirais existentes na fórmula (BRUICE, 2006; MCMURRY, 2011).

Vinculada a esta concepção, em moléculas que apresentam plano de simetria, a cada par, na verdade, tem-se a mesma molécula, resultando em um

número menor de estereoisômeros encontrados para o composto estudado (SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Para exemplificar, tome-se como base o composto ácido tartárico. Analisando sua estrutura, é possível encontrar dois carbonos quirais, sendo o C2 e o C3, por apresentarem seus ligantes diferentes entre si (FIGURA 9).

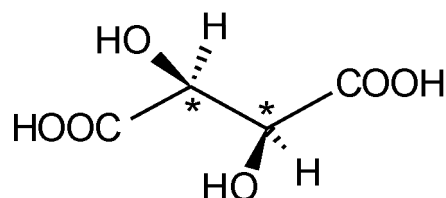


Figura 9: Carbonos assimétricos presentes na estrutura do ácido tartárico (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Sabendo que cada carbono quiral fornece dois estereoisômeros e tendo dois carbonos quirais na estrutura, conclui-se que é possível obter quatro estereoisômeros do ácido tartárico (FIGURA 10), onde as estruturas A - B e C - D são imagens especulares entre si (SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

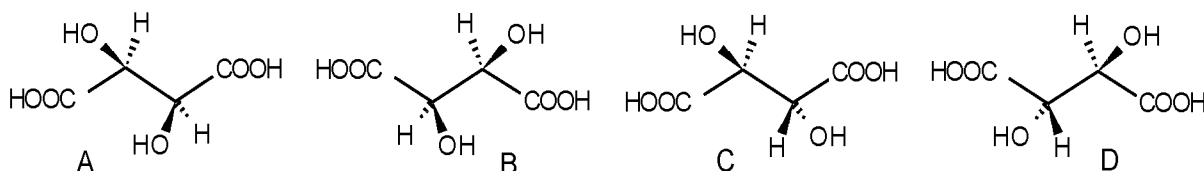


Figura 10: Estereoisômeros do ácido tartárico.

Analisando os estereoisômeros do ácido tartárico, mostrados na Figura 10, pode-se notar que eles diferem entre si pela sua configuração, onde apenas a posição tridimensional do ligante na molécula é alterada. Dessa forma, pode-se classificá-los em três subclasses: os enantiômeros, os mesocompostos e os diastereoisômeros (COELHO, 2001; ALLINGER et al., 1983).

3.3.1.1 Os enantiômeros

Os enantiômeros, também chamados de isômeros ópticos, são estereoisômeros cujas imagens especulares não são sobreponíveis (McMURRY, 2011; BRUCE, 2006; SOLOMONS; FRYHLE, 2012). A Figura 11 mostra o exemplo de um par de enantiômeros (estruturas A e B) e a não sobreposição quando são comparadas entre si.

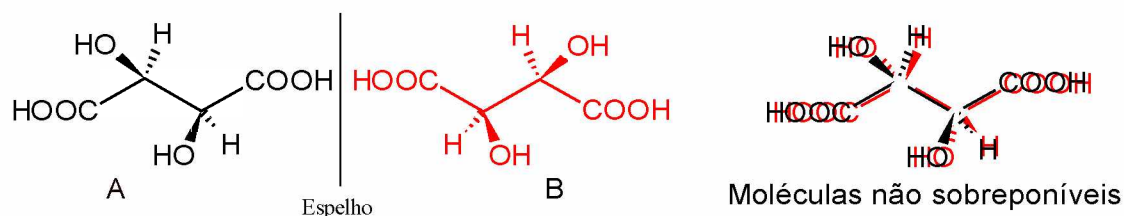


Figura 11: Compostos enantioméricos e sua não sobreposição (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Os enantiômeros apresentam as propriedades físicas iguais, uma vez que essas propriedades estão relacionadas com a conectividade dos átomos na molécula, que é igual no par enantiomérico (McMURRY, 2011; BRUICE, 2006; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

De acordo com Klein (2016)

Enantiômeros exibem propriedades físicas idênticas. [...] Isso faz sentido, pois as propriedades físicas são determinadas por interações intermoleculares e as interações intermoleculares de um enantiômero são as imagens espaciais das interações intermoleculares do outro enantiômero (KLEIN, 2016, p. 206).

Os enantiômeros exibem comportamento diferente quando expostos à luz plano-polarizada. Tal interação e desvio do plano da luz polarizada alteram algumas de suas propriedades, principalmente as propriedades fisiológicas (McMURRY, 2011; BRUICE, 2006; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

3.3.1.2 Os mesocompostos

Os mesocompostos são estereoisômeros cujas imagens espaciais são sobreponíveis. Esses compostos possuem centro de quiralidade (carbono quiral), mas apresentam plano de simetria (FIGURA 12), tornando a molécula aquiral (McMURRY, 2011).

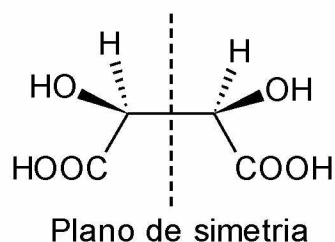


Figura 12: Plano de simetria de um isômero do ácido tartárico: divide a molécula em duas metades que são imagens espaciais entre si (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

De acordo com McMurry (2011), o plano de simetria que corta a molécula faz com que uma de suas metades seja imagem especular da outra metade, tornando essa molécula aquiral, mesmo com a presença de dois carbonos quirais. Essa aquiralidade da molécula acontece por compensação interna.

A figura 13 mostra o exemplo de mesocompostos, e como ocorre a sobreposição das moléculas.

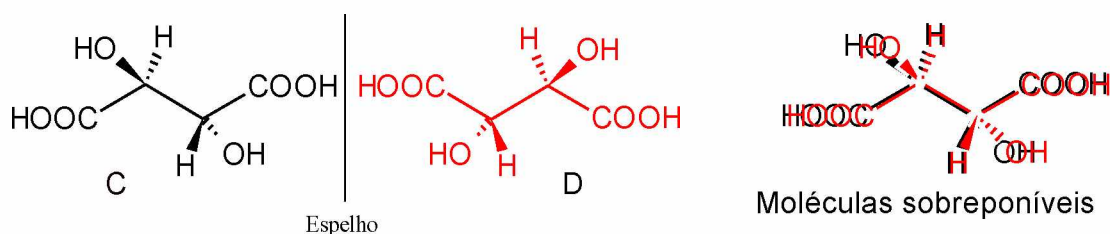


Figura 13: Estruturas de mesocompostos e sua sobreposição (Adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

3.3.1.3 Diastereoisômeros

De acordo com Coelho (2001), moléculas de compostos que possuem dois ou mais carbonos quirais em suas estruturas formam mais de dois estereoisômeros, resultando em estereoisômeros que não são imagens especulares um do outro.

Esses estereoisômeros que não são imagens especulares entre si são chamados de diastereoisômeros (COELHO, 2001). Os isômeros A-C, B-C, B-D e A-D, da figura 10 (p. 32), são exemplos de diastereoisômeros.

Os isômeros cis-trans também são exemplares de moléculas diastereoisoméricas, uma vez que são isômeros espaciais sem serem imagens especulares entre si (BRUICE, 2006).

3.3.2 Atividade óptica

Quando se analisam as propriedades dos enantiômeros, nota-se que estes apresentam as mesmas propriedades físicas. Tal fato pode ser simplesmente explicado, uma vez que as propriedades físicas de um composto são determinadas pelas interações intermoleculares que atuam no composto. Tais interações

intermoleculares dependem da conectividade entre os átomos que formam a substância, e que, no caso dos enantiômeros, são idênticas (KLEIN, 2016).

Ainda de acordo com Klein (2016), os enantiômeros exibem comportamento diferente na sua atividade óptica, que é a capacidade que certas substâncias possuem de desviar o plano da luz polarizada.

E para entender o fenômeno da atividade óptica, é preciso, primeiramente, compreender sobre a natureza da luz.

3.3.2.1 Luz natural e luz plano-polarizada

A luz, também chamada de radiação eletromagnética, é constituída de um campo elétrico e um campo magnético, oscilantes, que se propagam pelo espaço, perpendiculares um ao outro (KLEIN, 2016), conforme é mostrado na figura 14.

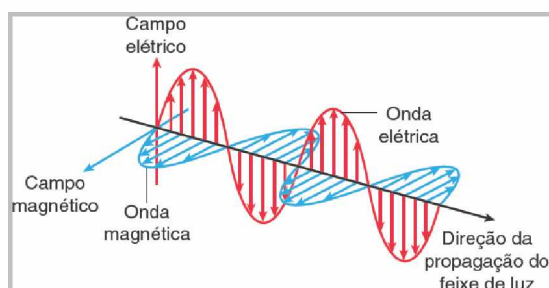


Figura 14: Ondas de luz, onde os campos magnético e elétrico oscilam perpendicularmente entre si (KLEIN, 2016, p. 206).

Segundo Klein (2016), um feixe de onda de luz se propaga pelo espaço, vibrando em várias direções (FIGURA 15A). Quando esse feixe atravessa um polarímetro, ele passa a vibrar em um único plano, resultando em um feixe de luz polarizada (FIGURA 15B). De acordo com Solomons e Fryle (2012), a direção do plano de polarização da luz é definida pela orientação do campo elétrico do feixe de luz.

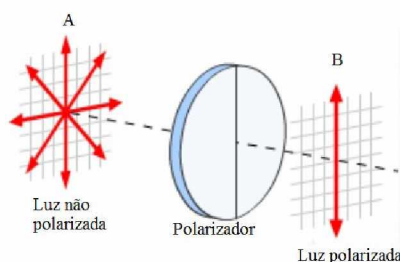


Figura 15: Feixe de luz passando pelo polarímetro. (A) Luz não polarizada. (B) Luz polarizada (KLEIN, 2016, p. 206; CORDEIRO, 2012).

Os polarímetros, ou polarizadores, são como uma fenda, que permite que apenas os fótons com uma polarização em particular passem através do filtro, dando origem à luz plano-polarizada (CORDEIRO, 2012). A figura 16 mostra como funciona um polarizador.

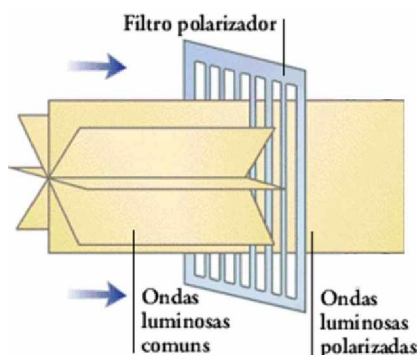


Figura 16: Esquema do funcionamento de um filtro polarizador (CORDEIRO, 2012, p. 5).

Alguns compostos possuem a capacidade de interagir com a luz plano-polarizada, desviando a mesma ora para a direita ora para a esquerda (McMURRY, 2011; BRUCE, 2006; SOLOMONS; FRYHLE, 2012), caracterizando sua atividade óptica.

Descoberta em 1815 (SILVA JUNIOR, 2014), a atividade óptica de uma molécula pode ser definida como a capacidade que certas substâncias possuem de desviar o plano da luz polarizada (LIMA, 1997), sendo que cada enantiômero tem a propriedade de girar o plano da luz polarizada em direção oposta (COELHO, 2001). Ela é medida pelo grau de rotação da luz plano-polarizada que passa através de um meio quiral (SOLOMONS, FRYLE, 2012).

As substâncias que interagem com a luz plano-polarizada são chamadas de opticamente ativas. As substâncias que não possuem essa característica são chamadas de opticamente inativas (KLEIN, 2016).

De acordo com Lima (1997), os enantiômeros são os compostos que apresentam atividade óptica. Um par de enantiômero interage com a luz plano-polarizada e desvia esta na mesma magnitude, porém em sentidos opostos. Os enantiômeros podem ser classificados de acordo com o desvio que provoca na luz polarizada, como é descrito abaixo:

- ✓ Dextrorrotatório: também chamado de dextrógiro. Deriva do latim *dextro*, que significa direita. O composto dextrorrotatório desvia o feixe de luz polarizada para a direita (LIMA, 1997).
- ✓ Levorrotatório: também chamado de levógiro. Deriva do latim *laevus*, que significa esquerda. O composto levorrotatório desvia o feixe de luz polarizada para a esquerda (LIMA, 1997).

Uma vez que os enantiômeros possuem o mesmo nome, a diferenciação entre eles ocorre por um sinal que antecede o nome do composto. As substâncias dextrorrotatórias adotam o sinal (+) ou “D”, enquanto que as substâncias levorrotatórias adotam o sinal (-) ou “L” (LIMA, 1997).

3.4 QUIRALIDADE

Para compreender a isomeria óptica, precisa-se entender o fenômeno da quiralidade, uma vez que estão diretamente relacionadas.

O termo quiral origina da palavra grega “*cheir*”, que significa “mão” (BRUICE, 2006). O fenômeno de quiralidade é um atributo geométrico que está relacionado com objetos que possuem imagens especulares idênticas na forma direita e na forma esquerda (ALLINGER et al., 1983; COELHO, 2001).

Esses objetos possuem imagem especular não sobreponível (quando a sua imagem especular não puder ser sobreposta ao objeto original) e são chamados de quirais (ALLINGER et al., 1983; BRUICE, 2006). Objetos como sapatos, tênis e luvas são exemplos de objetos quirais.

Já os objetos que não apresentam essa distinção da forma direita e esquerda e apresentam imagem especular sobreponível são chamados de aquirais. Pode-se citar como exemplos de objetos aquirais uma cama, uma mesa e uma cadeira (ALLINGER et al., 1983; BRUICE, 2006).

Assim como os objetos são quirais, algumas substâncias também podem apresentar tal característica. Essa propriedade também é exibida por moléculas orgânicas (ALLINGER et al., 1983).

No caso da Isomeria Óptica, a quiralidade está relacionada com a simetria da molécula. Para definir se uma molécula é simétrica ou assimétrica, é necessário verificar se a mesma possui plano de simetria, ou seja, se possui um plano que divide a molécula em duas metades iguais. Se a molécula possuir um plano de simetria, a molécula é dita simétrica ou aquiral, e se não possuir o plano, é assimétrica ou quiral (BRUICE, 2006).

A figura 17 mostra duas moléculas: (a) O 2-cloropropano, que possui um plano de simetria e é aquiral. (b) O 2-clorobutano que não possui um plano de simetria e é quiral.

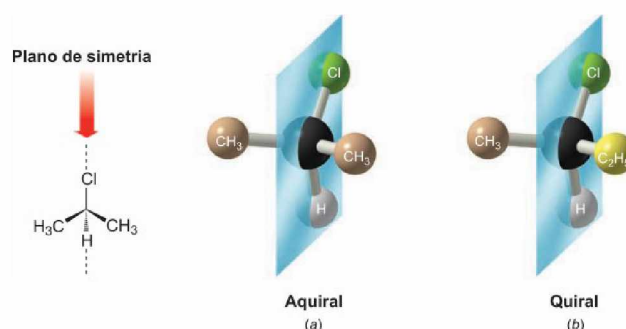


Figura 17: (a) Molécula aquiral. (b) Molécula quiral. (SOLOMONS; FRYHLE, 2012, p. 199).

Mas não são apenas compostos que possuem carbono como átomo central que apresentam quiralidade. Compostos que possuem um átomo com arranjo tetraédrico e quatro ligantes diferentes também apresentam quiralidade. Assim, é possível encontrar compostos que contêm átomos de silício, germânio, nitrogênio e enxofre com seus quatro ligantes diferentes que são moléculas quirais e apresentam enantiômeros (SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

3.5 HISTÓRIA DA ESTEREOQUÍMICA

Muitos compostos orgânicos foram descobertos ao longo do século XIX. Foi observado que alguns desses compostos se enquadravam no modelo estrutural de Kekulé, mas apresentavam a mesma composição química e propriedades físicas diferentes, intrigando os cientistas (CEDRAN, 2015).

Pode-se dizer que a história da Estereoquímica começou em 1808, quando o oficial, engenheiro, físico e matemático francês Étienne Louis Malus (1775 - 1812) e o matemático, físico e astrônomo holandês Christiaan Huygens (1629 – 1695)

(FERNANDES, 2011) observaram que, quando um feixe de luz natural atravessava o espato da Islândia², esse feixe se tornava polarizado (FOGAÇA, s.d.a; FOGAÇA, s.d.b).

Na primeira década de 1800, o físico e astrônomo francês Jean Baptiste Biot (1774 - 1862) estudou a polarização da luz ao atravessar uma solução química (FERNANDES, 2002b). Em 1812, Biot verificou que algumas substâncias desviavam (ou rotacionavam) o plano da luz polarizada. Verificou também que algumas delas desviavam esse plano para a direita enquanto outras desviavam para a esquerda (FOGAÇA, s.d.b).

Continuando sua pesquisa, em 1815, Biot descobriu que, além das moléculas em suas fórmulas cristalinas, alguns líquidos, tais como terebintina, extrato de limão e louro, e soluções alcoólicas, como soluções de cânfora, alguns açúcares e ácido tartárico, também rotacionavam o plano da luz polarizada (FOGAÇA, s.d.b).

Essa descoberta de Biot foi de extrema relevância, uma vez que permitiu concluir que a interação do composto com o plano da luz polarizada dependia da própria estrutura do composto, e não da composição do cristal ou do líquido estudado, como se pensava anteriormente. Baseado em sua descoberta, Biot inventou o polarímetro, que permite observar o fenômeno do desvio do plano da luz polarizada (FOGAÇA, s.d.a; FOGAÇA, s.d.b).

O químico e inventor alemão Justus von Liebig (1803 - 1873) (MAAR, 2006), em 1824, verificou que alguns compostos apresentavam a mesma composição elementar em suas estruturas. Liebig também notou que, mesmo possuindo a mesma quantidade e tipo de elementos, os compostos se diferenciavam entre si pela disposição desses elementos na estrutura (KOSTYANOVSKY, 2004). Essa descoberta foi de grande importância, pois embasou futuras descobertas.

² Espato da Islândia é uma variedade de cristal transparente de carbonato de cálcio (CaCO_3), que cristaliza no sistema romboédrico e tem a propriedade de produzir um fenômeno chamado dupla refração (QUÍMICA ENSINADA, 2013). Isso significa que quando um feixe de luz natural é incidido sobre esse cristal, saem dois raios polarizados refratados perpendicularmente, chamados de raio ordinário e raio extraordinário (FOGAÇA, s.d.b).

Complementando a descoberta feita por Liebig, o médico, químico e professor sueco Jöns Jacob Berzelius (1779 – 1848) (FERNANDES, 2002c) descobriu um fato sobre esses compostos. Enquanto realizava uma síntese orgânica, no ano de 1830, ele observou que, mesmo possuindo a mesma fórmula molecular, esses compostos podiam apresentar propriedades físicas e químicas completamente diferentes. Berzelius nomeou estes compostos como isômeros, que significa partes iguais (do grego *iso* = mesmo e *meros* = parte) (KOSTYANOVSKY, 2004).

De acordo com Cedran (2015), na segunda metade do século XIX, os químicos estavam intrigados com alguns casos observados. Eles verificaram que certos compostos apresentavam muitas características idênticas entre si, diferenciando apenas na interação deste composto com o plano da luz polarizada. Alguns dos compostos que apresentaram essa característica foram o ácido tartárico e o ácido racêmico.

Em 1819, o químico e mineralogista alemão Eilhard von Mitscherlich (1794 - 1863) descobriu o princípio do isomorfismo³, que é uma propriedade que permite que diferentes substâncias apresentem a mesma estrutura cristalina, com igual disposição e orientação dos átomos, das moléculas ou dos íons entre si. Depois desta descoberta, Mitscherlich se aperfeiçoou em química com o famoso professor pesquisador Jons Jacob Berzelius (1779 - 1848), em Estocolmo, durante os anos de 1819 a 1821 (FERNANDES, 2002a).

Tentando entender esses compostos que apresentaram características em comum, Berzelius designou Mitscherlich, em 1831, para investigar os derivados do ácido tartárico e do ácido racêmico e suas características ópticas, uma vez que foram reconhecidos com a mesma composição, apresentando as mesmas propriedades, tais como a mesma composição química e forma cristalina. Os dois compostos diferenciavam apenas na forma como interagem com o plano da luz

³ Isomorfismo é a propriedade de uma espécie mineral apresentar composições químicas diferentes, mas análogas, e cristalizar-se no mesmo sistema cristalino, onde certos elementos se substituem em proporções variáveis, constituindo uma série de cristalização.

polarizada. Mitscherlich não conseguiu avançar nas pesquisas que realizou sobre o tema (CEDRAN, 2015).

Porém, em 1836, Biot concluiu que o ácido tartárico em solução apresentava atividade óptica enquanto o ácido racêmico não apresentava nenhuma atividade óptica (CEDRAN, 2015; FOGAÇA, s.d.a).

Mitscherlich continuou seus estudos sobre os tartaratos, e, em 1844, conseguiu afirmar que o ácido tartárico e o ácido racêmico são idênticos. Para tal descoberta, ele publicou uma nota, afirmando que

Os sais duplos de sódio e amônio do ácido racêmico e do ácido tartárico têm a mesma composição química, a forma cristalina com ângulos iguais, o mesmo peso específico, a mesma refração dupla e, em consequência disto, seus eixos ópticos formam o mesmo ângulo. [...] Suas soluções aquosas têm a mesma refração. No entanto, os sais do ácido tartárico dissolvidos desviam a luz plano polarizada e os sais do ácido racêmico são indiferentes, como já havia concluído Biot para a mesma série de sais[...] Mas a natureza e o número de átomos, seu arranjo e as distâncias de um para outro são os mesmos em ambos os corpos (PASTEUR, 1860, p. 11, apud CEDRAN, 2015, págs. 64-65).

A solução para a incógnita sobre os compostos começou a ser apresentada pelo químico e bacteriologista francês Louis Pasteur (1822 - 1895) (BRASIL, 2011). De acordo com Cedran (2015), Pasteur desenvolvia suas pesquisas em um laboratório em Paris, no qual o químico francês Auguste Laurent (1807-1853) (WISNIAK, 2009) veio trabalhar em sua pesquisa. Laurent pesquisava sobre os cristais de tungstato de sódio, que eram cristais aparentemente idênticos. A pesquisa de Laurent chamou a atenção de Pasteur (CEDRAN, 2015).

A partir de então, Pasteur passou a estudar a cristalografia do ácido tartárico e do ácido racêmico. Ele acreditou que o estudo de cristais poderia responder a algumas questões da Química, até então sem respostas (CEDRAN, 2015).

Para verificar suas suspeitas, Louis Pasteur, em 1848, analisou os cristais de um sal derivado do ácido tartárico e percebeu que havia dois tipos de cristais na mistura. Com auxílio de uma lupa e uma pinça, Pasteur conseguiu separar os enantiômeros da mistura (CATTANI; BASSALO, 2009; SOLOMONS; FRYHLE, 2012) e, analisando os cristais obtidos, ele percebeu que as facetas dos cristais não

eram da mesma maneira. Ele percebeu que as facetas dos cristais analisados eram inclinadas, e que, por vezes, essa inclinação era ora para a direita, e para a esquerda, mostrando que eles são isomorfos (KOSTYANOVSKY, 2003).

Assim, ele examinou cuidadosamente as soluções dos dois cristais encontrados separadamente, e viu que as rotações ópticas⁴ eram opostas, sendo que o cristal facetado para a direita desviava a luz polarizada para a direita, enquanto que o cristal facetado para a esquerda desviava a luz polarizada para a esquerda. Pasteur também observou que quando ele colocava quantidades iguais de cada tipo de cristal, não ocorria o desvio do plano da luz polarizada (CATTANI; BASSALO, 2009; KOSTYANOVSKY, 2003).

A figura 18 mostra uma representação da estrutura cristalina dos isomorfos observados por Pasteur.

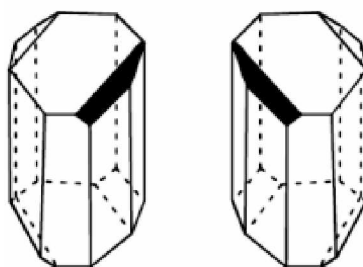


Figura 18: Estrutura cristalina de tartarato de sódio e amônio, isolado por Pasteur (DIAS; SOARES, 2009; GONSALVES; SERRA; EUSÉBIO, 2011).

O desenvolvimento da Química Orgânica, por muitos anos, deveu-se à busca de novos isômeros, em classes de compostos diferentes, onde novas pesquisas foram realizadas.

Pasteur, em 1860, disse que não poderia haver dúvida de que existia um arranjo de átomos assimétricos⁵ no ácido tartárico, possibilitando uma imagem não sobreponível inversa da estrutura original (KOSTYANOVSKY, 2003).

Nós sabemos, de fato, por um lado, que os arranjos moleculares de ambos os ácidos tartáricos são assimétricos; por outro lado,

⁴ Rotações ópticas são os desvios provocados no plano da luz polarizada quando há a interação entre a luz polarizada e o composto opticamente ativo.

⁵ Átomos assimétricos: também chamados de quirais, são átomos que possuem 4 ligantes diferentes em um arranjo tetraédrico (GONSALVES; SERRA; EUSÉBIO, 2011).

sabemos que eles são exatamente iguais, com exceção que a assimetria se apresenta em lados opostos. Estariam os átomos do ácido dextrógiro arranjados na forma de uma espiral à direita, ou eles estão situados nos vértices de um tetraedro irregular, ou ainda eles têm algum outro grupo assimétrico? Isso nós não sabemos. Mas sem dúvidas os átomos possuem um arranjo assimétrico como um objeto e sua imagem especular (PASTEUR, 1901, p. 16, traduzido por CEDRAN, 2015).

Assim, Pasteur conseguiu explicar por que muitos compostos que apresentavam a mesma estrutura interagiam de forma diferente quando um raio de luz polarizada incidia sobre eles. Mesmo assim, ele não conseguiu explicar qual era a relação existente entre o arranjo tridimensional dos átomos e a assimetria da molécula (CEDRAN, 2015).

Ainda neste mesmo ano de 1860, entrava em cena o químico russo Alexander Mikhaylovich Butlerov (1828 – 1886). De acordo com Kostyanovsky (2004), Butlerov formulou a teoria da existência de compostos que possuíam a mesma composição atômica, mas que diferiam em suas propriedades. Ele identificou esses compostos como sendo isômeros e relatou que a diferença que ocorria entre eles estava estritamente em suas estruturas químicas.

Butlerov continuou suas pesquisas, e em 1862, ele propôs a ideia do carbono tetraédrico (KOSTYANOVSKY, 2004) e em 1864, apresentou a teoria das estruturas dos compostos orgânicos, baseando-se nas ideias de August Kekulé (1829 – 1896) e Archibald Scott Couper (1831 – 1892), que propuseram que o carbono era tetravalente e que podia ligar-se a outros átomos de carbonos, formando longas cadeias (FERNANDES, 2002d).

Ainda de acordo com Kostyanovsky (2004), em 1873, o químico alemão Johannes Adolf Wislicenus (1835 – 1902) estudou os isômeros (+) e (-)⁶ do ácido láctico e concluiu que a diferença entre eles estava apenas no arranjo espacial de seus átomos. Ele chegou a essa conclusão por não conseguir interpretar de outra forma, reforçando a ideia de assimetria molecular.

⁶ (+) e (-): designação dada para diferenciar os enantiômeros de acordo com sua interação com o feixe de luz polarizada. Também se pode usar a designação D – L. O isômero D ou (+) desvia o feixe de luz polarizada para a direita, enquanto o isômero L ou (-), para a esquerda.

Esta situação começou a ser esclarecida pelo químico holandês Jacobus Henricus Van't Hoff (1852 – 1911). Em 1874, Van't Hoff publicou um trabalho intitulado “*Sur les formules de structure dans l'espace*”. Nesse trabalho, Van't Hoff sugere uma opção para o arranjo espacial dos compostos químicos, especialmente dos compostos orgânicos (VAN'T HOFF, 1874).

Para tal feito, ele utiliza o metano (CH₄) para exemplificar o arranjo sugerido. A escolha do metano se deve ao fato de a mesma apresentar apenas um átomo de carbono, o que facilita o manuseio da molécula. Van't Hoff também utilizou os outros compostos derivados do metano, onde substituiu os hidrogênios do mesmo por grupos carbônicos univalentes (R, R', etc..) (VAN'T HOFF, 1874).

A primeira explicação proposta por Van't Hoff seria de que a estrutura do metano (e seus derivados) estivesse em um arranjo do tipo quadrado planar. De acordo com Van't Hoff (1874), os átomos estariam dispostos em um quadrado, ocupando duas direções, sendo estas perpendiculares entre si. A figura 19 mostra o arranjo molecular espacial dos compostos derivados do metano, sugeridos por Van't Hoff (1874) e as possíveis variações da mesma.

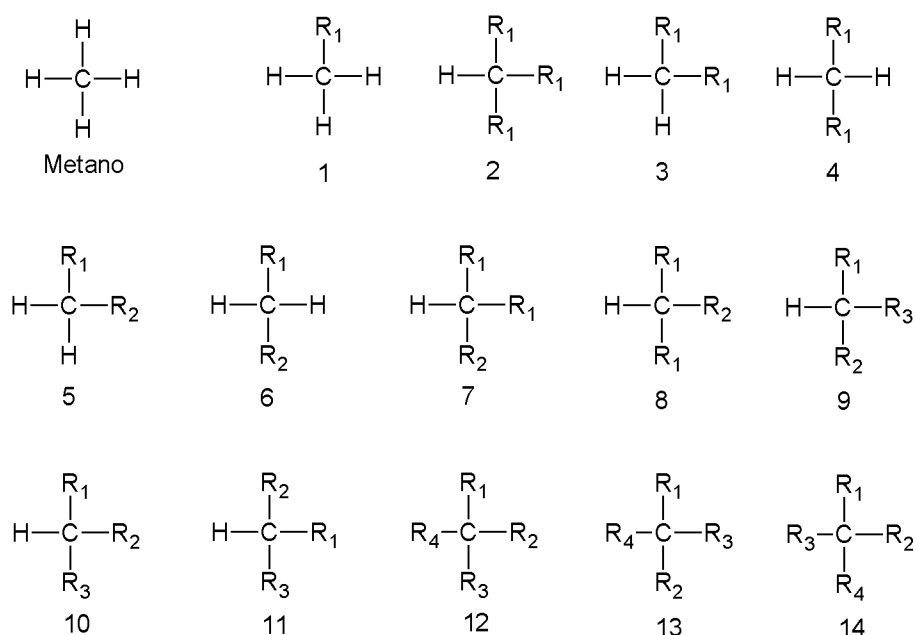


Figura 19: Arranjos espaciais, do tipo quadrado planar, propostos por Van't Hoff (Adaptado de VAN'T HOFF, 1874, p. 446)

De acordo com Van't Hoff, (1874, p. 446), segundo essa explicação, foram encontradas quatorze (14) estruturas diferentes para o metano e seus derivados, com as seguintes opções:

- ✓ Uma estrutura com fórmula CH_3R_1 (estrutura 1 da figura 2);
- ✓ Uma estrutura com fórmula $\text{CH}(\text{R}_1)_3$ (estrutura 2 da figura 2);
- ✓ Duas estruturas com fórmula $\text{CH}_2(\text{R}_1)_2$ (estruturas 3 e 4 da figura 2);
- ✓ Duas estruturas com fórmula $\text{CH}_2\text{R}_1\text{R}_2$ (estruturas 5 e 6 da figura 2);
- ✓ Duas estruturas com fórmula $\text{CH}_2(\text{R}_1)_2\text{R}_2$ (estruturas 7, e 8 da figura 2);
- ✓ Três estruturas com fórmula $\text{CHR}_1\text{R}_2\text{R}_3$ (estruturas 9, 10 e 11 da figura 2) e
- ✓ Três possibilidades de estruturas de fórmula $\text{CR}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{R}_4$ (estruturas 12, 13 e 14 da figura 2).

Van't Hoff (1874) afirma que o número de compostos encontrados com estrutura do tipo quadrado planar é muito maior do que os que são conhecidos. Experimentalmente, Van't Hoff comprovou que existe apenas uma possibilidade com dois ou três substituintes dos hidrogênios do metano, e apenas uma possibilidade com quatro substituintes. Tal informação inviabiliza a primeira possibilidade apresentada por Van't Hoff em seu trabalho (VAN'T HOFF, 1874).

Baseando nessa afirmação, Van't Hoff continua sua teoria e apresenta uma segunda explicação: a de que a estrutura do metano e seus derivados se encontram num arranjo espacial do tipo tetraédrico, onde o carbono estaria no centro do mesmo, enquanto os ligantes estariam nos seus vértices (RICHARDSON, 1901; VAN'T HOFF, 1874), conforme é mostrado na figura 20.

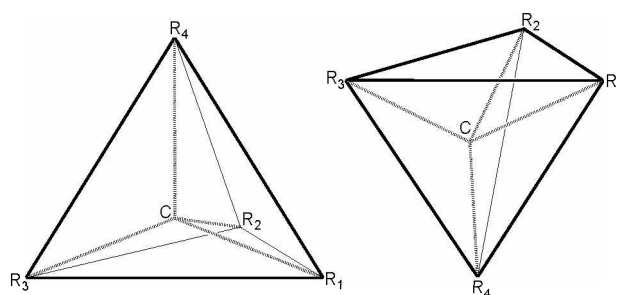


Figura 20: Arranjo espacial do tipo tetraedro proposto por Van't Hoff (Adaptado de VAN'T HOFF, 1874, p. VII).

Esta teoria do arranjo espacial tetraédrico está de acordo com os dados experimentais obtidos por Van't Hoff. Dessa forma, o número de isômero seria

reduzido para apenas uma estrutura de fórmula genérica $CR_1R_2R_3R_4$ ou duas possibilidades, quando os quatro grupos univalentes são diferentes, sendo que uma delas é a imagem especular não sobreponível da primeira estrutura (VAN'T HOFF, 1874).

Alguns meses depois da publicação do trabalho de Van't Hoff, o químico francês Joseph Achille_Le Bel (1847 – 1930) também propôs a estrutura tetraédrica para o átomo de carbono, o que descobriu de forma independente. Mas o trabalho de Van't Hoff se sobrepôs, uma vez que foi publicado primeiro e era mais completo, pois relacionava a estrutura e a atividade óptica dos compostos (CEDRAN, 2015).

Mas, o que deu início à Estereoquímica moderna foi a teoria de Alfred Werner (1866-1919). Essa teoria foi publicada em sua obra monumental "*Lehrbuch der Stereochemie*", em 1904. Nela, Werner explica que substituiu a teoria de valência fixa do elemento central pelo conceito de afinidade eletrônica. A afinidade eletrônica age como uma força de atração do átomo central pelos seus ligantes, o que resultaria na formação de uma esfera bem definida. Tal teoria explicava a existência de isômeros ópticos, até então desconhecidos, além de explicar a ocorrência da isomeria óptica, que ainda era considerada um atributo apenas dos compostos orgânicos (TOMA, 2005; WERNER, 1904).

As teorias de Van't Hoff, apresentadas no século XIX, foram tão bem fundamentadas que se tornaram consenso, tornando-se base para futuras descobertas. Descobertas estas que perduram até os dias atuais, em pleno século XXI, em que conceitos como a tetravalência do carbono e o arranjo tridimensional de suas moléculas perpetuam ao lado de um grande aparato tecnológico, inventados graças à evolução de uma ciência baseada nesses conceitos do século XIX (CEDRAN, 2015).

4 OS MODELOS

O processo de ensino e aprendizagem de Estereoquímica é permeado por muitas dificuldades, como foi pontuado anteriormente, e nesse processo os professores buscam vários recursos didáticos a fim de atenuá-las. Em sua maioria, esses recursos representam as moléculas em estruturas bidimensionais ou tridimensionais, para que auxiliem os alunos a construir uma representação mental das mesmas.

Em nosso esforço para compreender a realidade, somos algo semelhante a um homem tentando compreender o mecanismo de um relógio fechado. Ele vê o mostrador e os ponteiros em movimento, até ouve o seu tique-taque, mas não tem meio algum de abrir a caixa. Se for engenhoso, poderá formar alguma imagem de um mecanismo que seria responsável por todas as coisas que observa, mas jamais poderá estar totalmente certo de que essa imagem é a única capaz de explicar suas observações (Albert Einstein & Leopold Infeld, 1980, apud LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2008).

Desta forma, o uso de modelos em sala de aula auxilia o processo de ensino e aprendizagem sobre a Estereoquímica, uma vez que possibilita criar uma representação das moléculas, evidenciando como as mesmas se comportam espacialmente.

4.1 O QUE É UM MODELO?

A Química se caracteriza por possuir uma linguagem própria, a qual descreve os conhecimentos químicos teóricos, permitindo que as informações científicas sobre as substâncias utilizadas em nosso dia a dia sejam repassadas (MÓL; RAPOSO; PIRES, 2010). Essas informações científicas são obtidas através da observação, direta ou indireta, de fenômenos, naturais ou não. E para que os fenômenos sejam estudados e também para possibilitar a sua compreensão, bem como a formação do conhecimento científico, devem-se usar suas representações (WARTHA, 2013).

Bassanezi (2002) nos mostra a importância da linguagem simbólica para a Ciência:

A Ciência como conhecimento acumulado, depende de codificações e símbolos associados às representações orais ou visuais de comunicações (ação comum para entender, explicar e manejar a realidade) dando origem à linguagem e representação (BASSANEZI, 2002, p. 17).

A linguagem química se caracteriza por utilizar várias representações, entre as quais se podem citar as fórmulas e estruturas moleculares, reações químicas e seus mecanismos, entre outros, que podem interferir no processo de aprendizado pelo aluno (WARTHA, 2013).

A representação deve traduzir o problema e ajudar a resolvê-lo (VERGNAUD, 1982), mas no caso da Química, a representação constitui um modo de pensar, sendo bem mais que apenas um desenho (HABRAKEN, 2004). É utilizada para representar o fenômeno estudado sem a presença física do mesmo. Assim, surgem os modelos que medeiam a teoria e sua interpretação, através das representações que exigem abstração (WARTHA, 2013).

Os modelos mentais servem de sistemas intermediários entre o mundo e sua representação, uma espécie de filme interno cujas cenas são formadas por imagens animadas e signos, cuja concatenação expressa o estado de coisas e dialoga com a representação que o sujeito confere à realidade (GIORDAN, 1999, p. 47).

Os professores possuem a chamada mobilidade representacional, uma vez que conseguem repassar seus conhecimentos através de diferentes representações ou linguagens. Já os alunos devem reconstruir essas representações e se apropriarem delas, e ainda criar as suas próprias representações. Para tal processo, o aluno deve saber interpretar a sua linguagem, o que pode resultar em dificuldades na aprendizagem de conceitos científicos (GALAGOVSKY, 2004).

Quando se imagina algo para auxiliar o entendimento de um evento observado no mundo físico, cria-se um modelo. Um modelo é uma representação do evento estudado, com propósitos de facilitar a visualização, fundamentar e elaborar ideias e explicações sobre as propriedades do modelo proposto (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000).

Bunge (2009) afirma que o único método eficaz de aprender e entender a realidade utilizando o pensamento é através da conversão da realidade, coisas

concretas, em imagens conceituais, expandindo-as, enriquecendo-as por meio de modelos teóricos, complexos e fiéis aos fatos estudados.

O uso de modelos é de fundamental importância no processo da pesquisa científica, uma vez que se cria uma série de modelos como ferramenta para produção de conhecimentos (BARAB et al., 2000; HALLOUN, 2004; JUSTI; GILBERT, 2003; MORRISON; MORGAN, 1999).

De acordo com Ferreira (2006), os modelos são utilizados no ensino de Química com o objetivo de ajudar os alunos com alguma questão a qual se deseja ensinar, tornando o processo mais fácil. Quando as pessoas criam ou utilizam um modelo, o mesmo deve estar adaptado às suas necessidades, podendo ser alterado a qualquer momento (FERREIRA, 2006).

Segundo Ferreira e Justin (2008), um modelo é uma forma de representar a realidade, baseando-se em interpretações pessoais. Assim, o modelo não pode ser considerado uma cópia, ou muito menos, ser considerado como uma verdade.

No entanto, o uso de modelos pode induzir o aluno a um erro: que as ligações entre os átomos são sólidas (HARRISON; TREAGUST, 2000). Isso ocorre porque o uso extensivo de alguns modelos faz com que os alunos os aceitem como o real. Além disso, os modelos de bastão só são limitados (STIEFF; BATEMAN JR; UTTAL, 2005) em termos de modelagem de moléculas complexas, proporcionando uma variedade de cores e tamanhos, de modelagem de interações dinâmicas, e capacidade de ilustrar formas especiais de representações, como projeção de Fischer.

Mas, os alunos interpretam que os modelos correspondem perfeitamente ao que eles representam, sendo cópias da realidade (CHITTLEBOROUGH; TREAGUST, 2007).

Uma pesquisa realizada por Sousa e Fávero (2003) apontou que

pelo menos a metade dos sujeitos vê a resolução de problemas como aplicação da teoria, isto é, aplicação e transferência de conhecimento adquirido. [...] O aluno não toma consciência de que a relação entre teoria e prática é interativa, de modo que é normal ter dificuldades em resolução de problemas, pois esta é também

responsável pela aprendizagem da teoria. Ante a esta falta de conscientização, o aluno recorre ao uso mecânico de fórmulas como se estivesse aí a aplicação da teoria que ele não consegue assimilar (SOUSA; FÁVERO. 2003, p. 19- 20).

Segundo Ferreira e Justin (2008), é a maneira como o conhecimento escolar é apresentado ao aluno que o induz a assumir o modelo como a realidade estudada, uma vez que, na maioria das vezes, o conteúdo é apresentado com exatidão e sem nenhuma explicação sobre o que o modelo está representando no momento da aula.

4.2 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS

Para se construir um modelo, devem-se observar alguns aspectos importantes, desde o fenômeno que se deseja representar até o fato de que o modelo deva fazer sentido para quem for utilizá-lo.

De acordo com Justi e Gilbert (2002)

Todo processo de construção de modelo é empreendido com um propósito, seja para descrever a condução de um fenômeno, para estabelecer as entidades das quais ele pensa que consiste (junto com sua distribuição espacial e temporal), seja para descrever as razões – as causas e efeitos de – para aquele acontecimento, para prever como ele vai ocorrer sob outras circunstâncias, ou vários ou todos desses (JUSTI; GILBERT, 2002, p. 59).

Halloun (2004) propõe que a criação de um modelo é composta por uma espiral que deva descrever, explicar e prever o fenômeno representado, controlando as variáveis e inventando um meio de explicar a teoria do mesmo. Essa espiral interliga todas as etapas de produção, decorrendo daí que, a cada etapa, aumenta o grau de dificuldade do raciocínio e dos testes realizados.

Justi e Gilbert (2002) propõem um diagrama, chamado de modelo de modelagem (FIGURA 21), que explica o processo de criação do modelo.

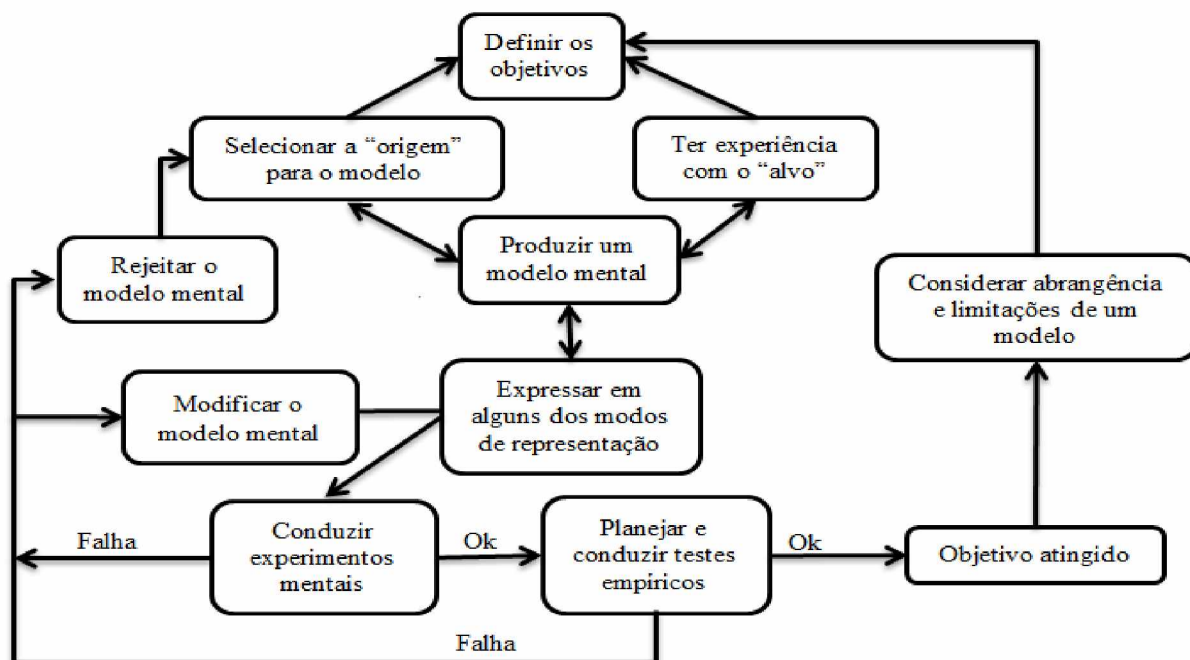


Figura 21: Modelo de modelagem proposto por Justi e Gilbert (2002), apud Ferreira (2006, p. 17).

Ferreira (2006) descreve o modelo de modelagem, observado na figura 21, em etapas, conforme descrito abaixo:

- 1) **Fenômeno a ser modelado:** nesta etapa, deve-se limitar o que será abordado no estudo, quais aspectos serão explicados através do modelo.
- 2) **Criação do modelo mental:** deve-se elaborar um modelo mental⁷ que consiga abordar todos os pontos que serão estudados sobre o fenômeno escolhido. Leva-se em conta se existe outro modelo que já aborde o mesmo, ou que se tenham dados que embasem a construção. Para o desenvolvimento de um modelo, criam-se outros modelos que são necessários ao processo, que são:
- 3) **Criação do modelo expresso**⁸: neste ponto, deve-se decidir qual a melhor forma de expressar o modelo mental criado. Para isso, pode haver modificações no modelo mental construído, a fim de adequar um modelo ao outro, de modo

⁷ Modelos mentais: são modelos fictícios, criado pela mente das pessoas, para resolver problemas ou questões (BORGES, 1999; ORNEK, 2008). Ferreira (2006) ressalta que este tipo de modelo faz parte do processo de construção de todos os outros tipos de modelos, uma vez que o primeiro passo para a elaboração de um novo modelo é a idealização do mesmo.

⁸ Modelo expresso: é o modelo quando se representa fisicamente o modelo mental, seja através de um desenho, figura, foto, escrita, entre outras formas (GILBERT; BOUTLER, 1995; ORNEK, 2008).

que cumpra sua função conforme planejado.

- 4) Testar o modelo:** pode ocorrer de duas maneiras: testes empíricos ou testes mentais, dependendo do tipo de modelo expresso que foi criado. Os testes mentais são aqueles conduzidos por pensamento, com simulações do modelo em uso. Já no teste empírico, realizam-se experimentos com coleta e análise de dados, em comparação com resultados previstos para o uso do mesmo. Essa etapa é de fundamental importância, uma vez que se determina a utilidade do modelo criado. Caso o modelo não corresponda ao seu objetivo, é nessa etapa que é detectada a falha, permitindo ao pesquisador voltar à etapa de construção do modelo mental e ajustar o mesmo, para que se alcancem os objetivos traçados.
- 5) Obtenção do modelo:** depois que todos os testes foram realizados e considerados satisfatórios, é o momento de apresentar o modelo criado para outras pessoas avaliarem, momento em que poderão fazer considerações sobre seu uso, como suas limitações e abrangência, ou até mesmo, podem surgir questões sobre seu processo de criação, sempre buscando melhorar o modelo proposto. Dependendo da análise feita, o modelo pode retornar para o processo de criação, para que alguma alteração seja realizada.

Nessa fase de criação de um modelo é de fundamental relevância a participação do público com o qual irá trabalhar, uma vez que é o público que define o modelo e sua utilização. Por exemplo, se o modelo foi construído e analisado por cientistas especializados de uma determinada área, ele é definido como um modelo científico (GILBERT; BOUTLER, 1995).

No caso do ensino, é criado o modelo de ensino, que é um modelo científico simplificado aplicado no ensino, que retrata apenas algumas partes específicas do conhecimento a ser ensinado, de forma mais simples, mas ainda correta. Também podem ser chamados de modelos curriculares quando fazem parte do currículo escolar (GILBERT; BOUTLER, 1995; JUSTI; GILBERT, 2002; FERREIRA, 2006).

Permitir aos alunos participarem da confecção do modelo possibilita que os mesmos desenvolvam habilidades manuais e criatividade, o que, além de facilitar o

aprendizado, contribui para desmitificar a química como a ciência da abstração, mostrando que é apenas uma ciência da natureza (LIMA; LIMA NETO, 1999). Ainda segundo os mesmos autores, construir seu próprio modelo possibilita fazer adaptações quando achar necessário, possibilitando uma melhor interpretação do fato estudado.

A participação dos alunos auxilia o processo da evolução de seus conhecimentos, uma vez que ele coloca em prática os conhecimentos adquiridos anteriormente (FERREIRA, 2006). De acordo com Ferreira e Justin (2008), novos conhecimentos também podem ser criados com o sinergismo entre o conhecimento conceitual e a fabricação do modelo, permitindo, assim, o desenvolvimento do aluno.

Clement (2000) afirma que permitir que o aluno elabore seus próprios modelos auxilia a este visualizar conceitos abstratos através da criação das estruturas, as quais ele pode explorar, testando seu modelo; isso o leva a criar conhecimentos mais abrangentes e flexíveis.

Além disso, segundo Barab e colaboradores (2000), esse momento da construção do modelo permite uma interação entre os envolvidos no processo. Além de proporcionar um trabalho em equipe pelos estudantes, também permite que haja uma interação entre estudantes e professor, possibilitando uma troca de conhecimento e um crescimento de cada envolvido.

Nesse trabalho, o papel do professor muda, uma vez que ele para de “dar” respostas corretas e passa a guiar e facilitar a aprendizagem, engajando os estudantes nesse processo de pesquisa. Os estudantes são considerados participantes ativos no processo de aprendizagem, promovendo seus próprios acertos (em relação à tarefa) e construindo relações significativas através de suas experiências (BARAB et al., 2000, p. 722).

O papel que o professor assume durante a construção do modelo é de orientação e não de dar respostas prontas, uma vez que induz o aluno a pensar, analisar a situação que procura representar com o modelo (BARAB et al., 2000). Também pode induzir questionamentos e solicitar explicações que facilitem o uso do modelo que está sendo construído, além de estar consolidando o conhecimento que os alunos estão adquirindo durante este processo (VOSNIADOU, 2002), bem como

criando a oportunidade de acompanhar o processo de expressão das ideias originais do aluno e a compreensão dos modelos estabelecidos (DUI; GLYNN, 1996).

4.3 TIPOS DE MODELOS

Existem vários tipos de modelos com diferentes utilidades. Eles podem ser classificados em diferentes tipos, de acordo com o modo de representação ou modos de simbolização do modelo descrito (TWYMAN, 1985 apud GILBERT; BOULTER, 2000, p. 46).

Gilbert e Boulter (2000) destacam como principais os tipos de modelos concreto, verbal, visual, virtual, matemático, gestual, dentre outros. Também destacam os modelos mistos.

A seguir, serão detalhados os modelos utilizados neste trabalho, definindo e exemplificando os mesmos.

4.3.1 Modelo Concreto

São os modelos materiais tridimensionais (GILBERT; BOULTER, 2000; ORNEK, 2008). Encaixa-se nesta categoria o modelo do tipo pau e bola, também conhecido como modelo bola e vareta ou modelo de mão, mostrado na figura 22.



Fonte: KIT, s.d.

Figura 22: Modelo pau e bola.

Por ser um modelo comercializado, seu custo pode ser elevado. Dessa forma, é muito comum recriar esse modelo com outros materiais, tais como bola de

isopor e varetas (LIMA; LIMA-NETO, 2009; QUEIROZ; RECENA; SOUZA, 2010), jornais (RODRIGUES et al., 2011a), fibra de buriti (CARNEIRO; RANGEL; LIMA, 2011), massa de biscoito e palitos de cotonetes (ALMEIDA; SILVA; CARVALHO, 2010), entre outros materiais.

Além de seu custo elevado, o modelo comercializado pode possuir limitações que estariam ligadas ao fato de que eles são construídos de plástico e dentro de padrões definidos há décadas, tais como a forma do modelo e o ângulo das ligações, o que pode dificultar o seu uso por professor e alunos (GONÇALVES et al., 2009).

Lima e Lima Neto (2009) relacionaram as vantagens e desvantagens encontradas nos tipos de modelos concretos comerciais e alternativos, do tipo pau e bola, utilizados em sala de aula (QUADRO 1).

Quadro 1: Vantagens e desvantagens de modelos comerciais e alternativos que são propostos na literatura.

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Comerciais	Acabamento fino, ângulos corretos.	Importados, caros, limitado número de peças, são específicos, fácil desgaste, configurações espaciais restritas.
Bolas de isopor com palitos de dente	Acessível e versátil com ampla e pronta aplicação.	Ocupa muito espaço, é de fácil desgaste.
Canudos de bebida	Fácil aquisição, cores variadas.	Montagem definitiva, frágil, muito leve.
Balões de aniversário	Acessível, cores variadas.	Definitivo, frágil, muito leve.
Arame	Fácil construção.	Difícil manuseio da estrutura, uso restrito.
Bolas de isopor com canudos, alfinetes e arames	Versátil, ampla aplicação em química, acessível.	Montagens definitivas, difícil posicionamento dos ângulos.

Fonte: LIMA; LIMA NETO (2009, p. 903).

O modelo do tipo pau e bola é o tipo de modelo mais utilizado, por ser de fácil manuseio e aquisição.

4.3.2 Verbal

São modelos que são ouvidos ou verbalizados, podendo ser de descrição, explanação, narração, argumentação, analogia e metáfora (GILBERT; BOULTER, 2000). Podem ser observados em placas (FIGURA 23), outdoors, anúncios, entre outros, onde se utiliza a linguagem verbal (palavras e frases escritas) para se realizar a comunicação desejada (MACHADO, 2016).



Fonte: Placas Online

Figura 23: Placa que orienta método de segurança ao manipular produtos químicos

4.3.3 Visual

São aqueles modelos que são vistos, tais como diagramas, animações, algumas simulações e vídeo (GILBERT; BOULTER, 2000, p. 46).

Nesse tipo de modelo, utilizam-se os símbolos para transmitir uma ideia ou uma mensagem. São constituídos de formas, cores e tipografias. Encaixam-se nesse modelo sinais, placas, ícones, logotipos, entre outros, conforme é mostrado na figura 24 (MACHADO, 2016).



Fonte: RX, 2012.

Figura 24: Símbolo utilizado para indicar material radioativo.

4.3.4 Virtual

São modelos que utilizam ferramentas computacionais para simular situações realistas, estimulando os sentidos, explorando os sentidos humanos, tais como visual, tátil e auditivo (ROSENBLUM; BURDEA; TACHI, 1998).

Outros nomes podem ser atribuídos a este tipo de modelo, dependendo da área que o utiliza. Na Química, por exemplo, são chamados de modelagem molecular (SANT'ANNA, 2002; SANTOS, 2001).

Sant'anna (2002) conceitua modelagem molecular como “investigação das estruturas e das propriedades moleculares usando a química computacional e as técnicas de visualização gráfica visando fornecer uma representação tridimensional, sob um dado conjunto de circunstâncias” (SANT'ANNA, 2002, p. 509).

Para Santos (2001), a modelagem molecular é “a aplicação de modelos teóricos para representar e manipular a estrutura de moléculas, estudar reações químicas e estabelecer relações entre a estrutura e propriedades da matéria” (SANTOS, 2001, p. 5).

BKChem®, ChemDraw®, HyperChem 7®, ChemWindow® e ChemSketch® são alguns exemplos de softwares de Química, que podem auxiliar no processo de ensino-aprendizagem de Estereoquímica, uma vez que facilita a visualização da estrutura tridimensional da molécula (FRANCO NETO, 2007).

4.3.5 Modelos mistos

Os tipos de modelos apresentados anteriormente podem ser combinados entre si, criando os chamados modelos mistos.

De acordo com Gilbert e Boulter (2000), destacam-se os seguintes modelos:

- ✓ Concreto misto: modelos concretos com componentes visuais, verbais e/ou numéricos;
- ✓ Verbal misto: texto com adição de componentes visuais ou numéricos;

- ✓ Visual misto: modelos visuais com componentes verbais e/ou numéricos;

Os modelos supracitados apresentam as mesmas características quando apresentados individualmente, permitindo uma melhor aplicabilidade. Desta forma, os modelos mistos são os mais utilizados.

4.4 A EVOLUÇÃO DOS MODELOS MOLECULARES

Pode-se dizer que os primeiros modelos moleculares de que se tem informação foram desenvolvidos enquanto a estrutura dos compostos orgânicos ainda não era bem conhecida. Tal fato se passou no século XIX (HARDWICKE, 1995).

Em 1811, John Dalton (1766 – 1844) publicou sua obra “*New System of Chemical Philosophy*”. Para demonstrar essas ideias, John criou um modelo atômico simples, representando moléculas diatômicas (HARDWICKE, 1995).

Técnicas de modelagem de átomos e moléculas datam, pelo menos, das esferas de madeira de John Dalton e aos gráficos de círculos nos inícios do século XIX e, nos anos 1850 e 1860, os químicos criaram uma vasta gama de modelos físicos de demonstração e, representações simbólicas bidimensionais de moléculas, particularmente em Química Orgânica (RAMBERG, 2000, p. 36).

Em uma conferência, Hofmann, em 1865, apresentou um modelo do tipo pau e bola, rígido, feito de madeira, representando a molécula de metano, em uma estrutura planar (FIGURA 25) (KNIGHT, 2003; ROQUE; SILVA, 2008).

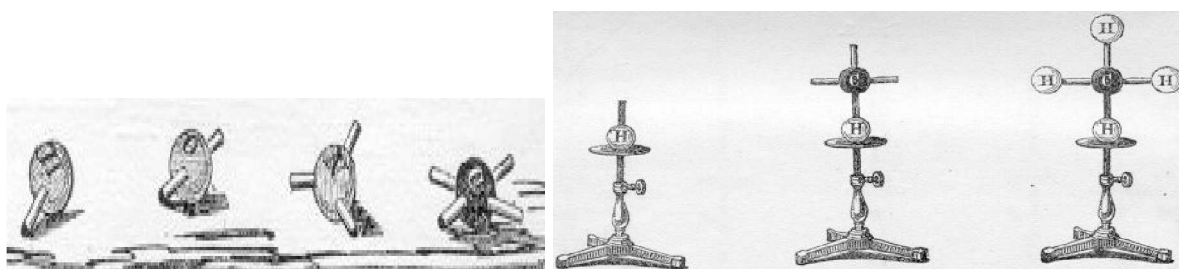


Figura 25: Átomos do modelo de Hofmann e construção da molécula do gás metano utilizando o modelo (HOFMANN, 1862-6, p. 426).

Outra contribuição que Hofmann inseriu nos modelos moleculares foi cores nas bolas para representar os átomos de diferentes elementos com cores diferentes. Ele designou que as bolas brancas representam os átomos de hidrogênio, os

átomos de cloro são verdes; os átomos de oxigênio são vermelhos, os de nitrogênio, azul; os átomos de carbono, por último, são representados por bolas pretas (HOFMANN, 1862-1866).

A figura 26 mostra a molécula de metano representada pelo modelo de Hofmann.

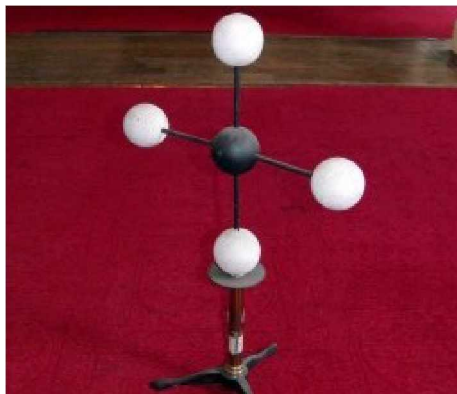


Figura 26: Modelo de bolas e varetas de Hofmann, datado de 1865, do metano (CH_4). (WIKIPÉDIA, 2013).

Vale ressaltar que tal convenção de cores ainda é utilizada nos modelos moleculares do século XXI.

Os modelos tridimensionais surgiram após as descobertas de Louis Pasteur (descoberta do desvio da luz polarizada pelo ácido tartárico) e de Van't Hoff e Le Bell (descoberta da forma tetraédrica do carbono). Essas descobertas revolucionaram os modelos moleculares. Vários outros modelos foram propostos ao longo dos anos (ROQUE; SILVA, 2008).

Em 1867, foi a vez de August Kekulé (1829-1896) construir um modelo do tipo bola e palito para explicar sobre a tetravalência do carbono (VAN DER SPEK, 2006). Kekulé utilizou o modelo mostrado na figura 27 para explicar a estrutura da molécula de benzeno, em 1866, que era constituído de pequenos tubos de borracha e varas (KEKULÉ, 1867).

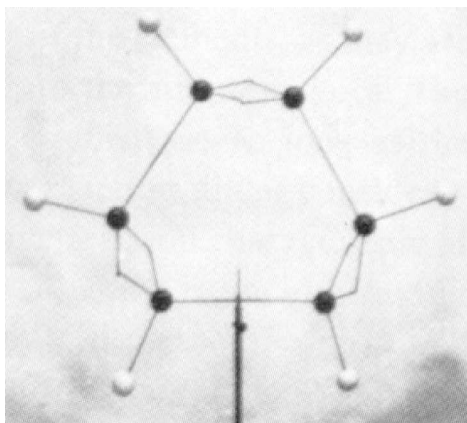


Figura 27: Estrutura do benzeno representada pelo modelo molecular proposto por Kekulé (KEKULÉ, 1867, p. 218).

Em 1874, Van't Hoff descreveu os isômeros do ácido tartárico (descobertos por Louis Pasteur em 1848), utilizando um modelo tetraédrico que ligava os vértices às faces (VAN'T HOFF, 1874). A figura 28 mostra esse modelo utilizado por Van't Hoff.

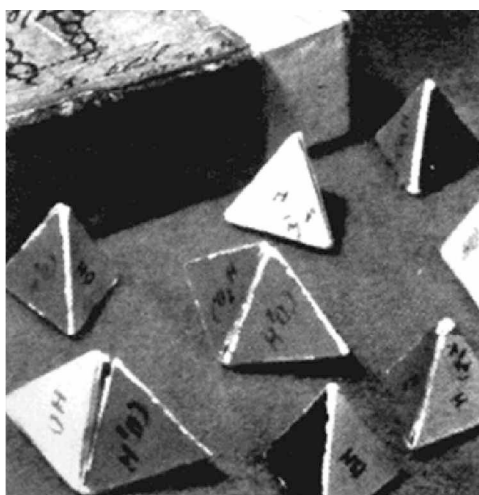


Figura 28: Modelo tetraédrico proposto por Van't Hoff (ROQUE; SILVA, 2008 apud SOUZA, 2012a, p. 17).

Em 1929, Minné (1929) propôs um modelo que demonstrava a estrutura dos estereoisômeros do ácido tartárico. Tal modelo foi fabricado utilizando rolhas de cortiça de diferentes tamanhos e bastões de vidro (FIGURA 29).

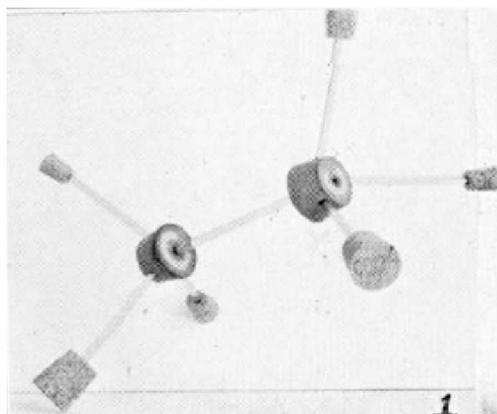


Figura 29: Modelo proposto por Minné, em 1929 (APPELT; OLIVEIRA; MARTINS, 2009, p. 9).

Para explicar conceitos de séries homólogas e isomeria, Brode e Boord (1932) utilizaram modelos estruturais em um curso de Química Orgânica Experimental. Os modelos utilizados foram adquiridos a preços acessíveis nos comércios da época (FIGURA 30).

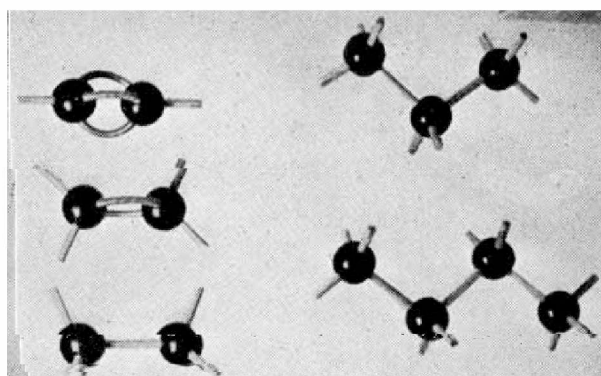


Figura 30: Esqueleto carbônico das estruturas propostas por Brode e Boord (1932) ilustrando ligações simples, duplas e triplas entre carbonos.

Já em 1941, Black e Dole propuseram um modelo molecular feito de esferas de madeira que possuíam botões de pressão para uni-las, sendo possível demonstrar a forte união entre os átomos e a livre rotação das ligações simples, favorecendo a visualização das conformações espaciais das moléculas. Para construir esse modelo, os pesquisadores se atentaram à geometria do carbono e ao ângulo de ligação no tetraedro.

A figura 31 mostra uma molécula sendo representada pelo modelo proposto por Black e Dole (1941).

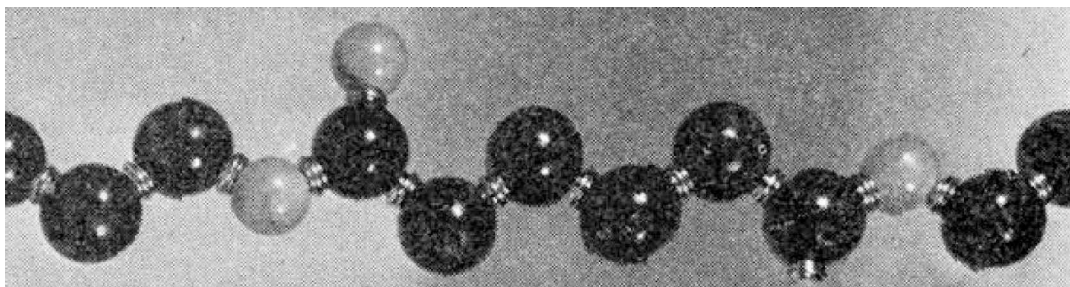


Figura 31: Modelo molecular proposto por Black e Dole (1941), no qual os átomos são unidos por botões de pressão.

Campbell (1948) propôs uma versão de modelo ideal para utilização em sala de aula. Para tal construção, ele propôs uma escala de medida, onde um Ângstrom era equivalente a uma polegada ($1 \text{ \AA} = 1 \text{ in}$).

Utilizando cera, palito de madeira e tiras de borracha (FIGURA 32), Tanaka (1957) confeccionou os átomos, as ligações simples e as ligações duplas, respectivamente, e foram considerados muito melhores do que os outros que eram fabricados com argila.

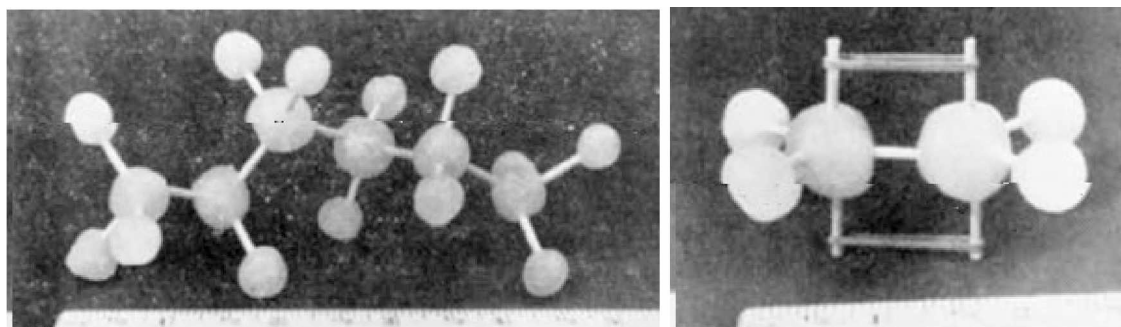


Figura 32: Modelos feitos por Tanaka (1957), utilizando cera, para moldar os átomos. Esquerda: hexano; direita: etileno.

Em 1959, surgiram os modelos que utilizavam bolas de borracha e palito de madeira. O diferencial desses modelos é que os ângulos de ligação são bem mais precisos do que os dos outros modelos existentes (ANKER, 1959).

A evolução dos modelos moleculares nos leva àquele que representava o esqueleto carbônico da molécula. Esse modelo, demonstrado na figura 33, possuía os átomos feitos em metal e as ligações eram feitas de metal ou plástico e representavam os arranjos: tetraédrico, bipiramidal trigonal e octaédrico (BRUMLIK; BARRET; BAUMGALTEN, 1964).

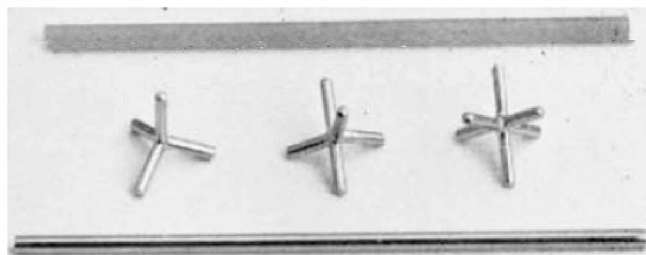


Figura 33: Modelo molecular produzido por Brumlik, Barret e Baumgalten (1964). Os átomos são metálicos

Concomitante ao modelo descrito no parágrafo anterior, outro modelo foi proposto. Este era confeccionado por arames revestido por película plástica colorida, o que tornava possível a diferenciação dos átomos de carbono, nitrogênio e oxigênio (LARSON, 1964).

Já em 1990, He, Liu e Li propuseram modelos fabricados de papel, onde eram montados os poliedros das geometrias tetraédrica, trigonal bipiramidal, dentre outros. É o que pode ser observado na figura 34.

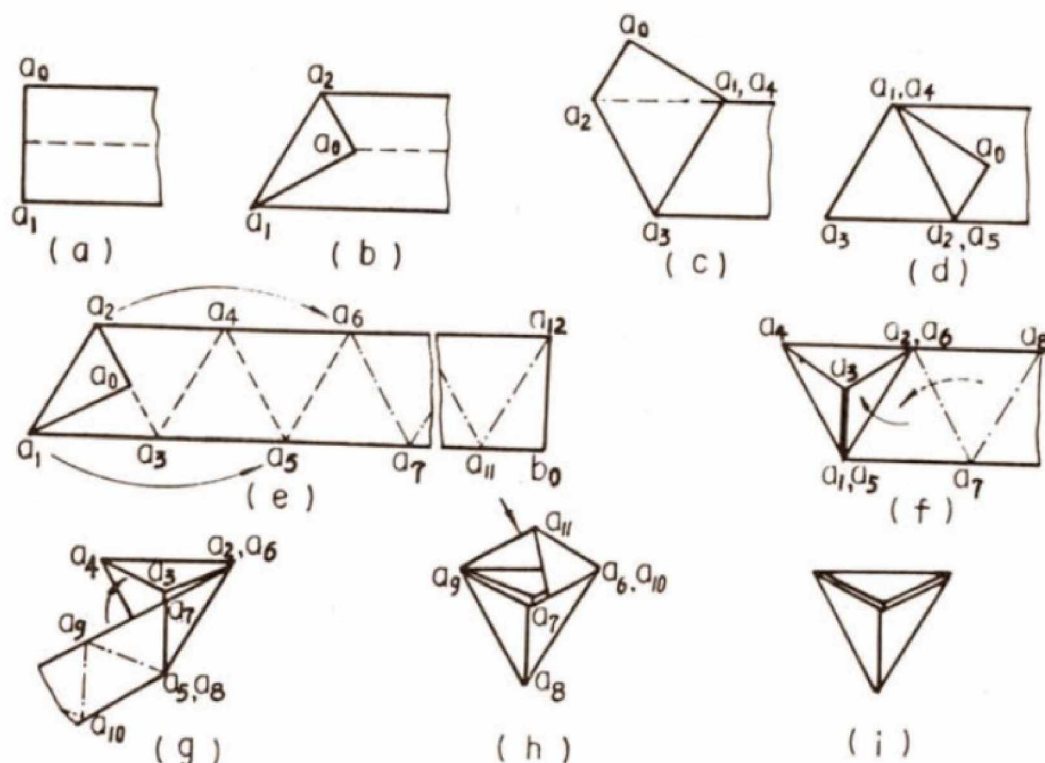


Figura 34: Confeção do modelo tetraédrico proposto por He, Liu e Li (1990).

Desde os anos 90, com a evolução tecnológica e a inserção do computador no processo de ensino, os modelos moleculares computacionais ganharam espaço e se diversificaram bastante (OLIVEIRA, 2012).

No próximo capítulo, serão apresentados vários trabalhos realizados, utilizando os modelos como recurso didático.

5 O ENSINO DE ESTEREOQUIMICA

Vários conteúdos da Química, como a Estereoquímica, levam o aluno a imaginá-la como uma ciência abstrata. Isso ocorre porque, na maioria das vezes, o aluno não consegue visualizar a molécula no espaço tridimensional, o que dificulta o processo de aprendizagem. Cabe ao professor buscar meios que auxiliem o aluno, utilizando recursos didáticos a fim de promover a melhoria do aprendizado (LIMA; LIMA NETO, 1999).

5.1 AS DIFICULDADES NO ENSINO DE ESTEREOQUÍMICA

O termo “dificuldade de aprendizagem” é utilizado quando o processo de aprendizado é afetado (CASTAÑO, 2003).

De acordo com Nutti (2002), não é apenas o discente que deve ser responsabilizado, uma vez que outros fatores podem estar associados ao processo. Biase (2009) afirma que o tempo de docência influencia positivamente os alunos no processo de aprendizagem. Ele percebeu que quanto maior o tempo de docência, maiores são os resultados positivos por parte dos alunos.

Quando se fala do processo de aprendizagem de um determinado conteúdo, deve-se conhecê-lo bem, para que seja possível intervir, de forma construtiva, no mesmo. Assim, é necessário entender o ensino de Estereoquímica e as dificuldades que esse conteúdo apresenta.

A Estereoquímica é um dos conteúdos do ensino de Química Orgânica e pode ser encontrado em várias fontes, desde livros didáticos de nível médio até nível superior. Pode ser encontrado também em fontes de outras áreas, tais como Biologia, entre outros (SOLOMONS; FRYHLE, 2012; BRUICE, 2006; McMURRY, 2011; KLEIN, 2016).

Segundo Almeida e colaboradores (2009), apesar da importância do conteúdo de Estereoquímica, várias dificuldades encontradas no ensino restringem sua exploração no Ensino Médio, fazendo com que sofra recortes ou, até mesmo, seja totalmente ignorado pelos professores em sala de aula.

Durante seu mestrado, Both (2007) entrevistou vários professores sobre os conteúdos ensinados na disciplina de Química. Quanto ao ensino de Estereoquímica, o resultado é um pouco contraditório. Uma professora alega que os alunos compreendem os conceitos fundamentais, principalmente quando há uma contextualização do tema. Segundo a professora entrevistada

A questão da isomeria, porque é que apesar de ser fórmula parecida as propriedades mudam drasticamente. Eu sempre cito pra eles o caso da Talidomida. Antes de descobrir os isômeros, as pessoas tomavam medicamento buscando benefício e teve um malefício. Eles ficam assim fascinados: “professora, só de mudar a posição, vai de um lado, outro vai pra outro e já muda o efeito?” Eu falei “muda”. Na experiência do ácido aspártico, como funciona a química dos fármacos. Na parte da química onde os alunos mais se envolvem é a química orgânica (BOTH, 2007, p. 119).

Outra professora, que também foi entrevistada na pesquisa, afirma que “A isomeria [...] é muito complexa para ser ensinada no Ensino Médio [...] que o aluno pode até identificar isomeria, mas não é capaz de entender” (BOTH, 2007, p. 119), mas que, apesar dessa complexidade, é um dos principais temas para a contextualização, sendo fácil fazê-lo, uma vez que várias substâncias utilizadas no dia a dia apresentam esse fenômeno.

Mas não é o que se encontra na literatura. Vários autores (BARKE; ENGIDA, 2001; RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009; WU; SHAH, 2004; AL-BALUSHI, AL-HAJRI, 2014) apontam o conteúdo de Estereoquímica como sendo difícil e complexo para os alunos do Ensino Médio, e várias dificuldades são relatadas em suas pesquisas.

As dificuldades de aprendizado começam a aparecer quanto à forma como são apresentados em sala de aula, não se limitando apenas ao conteúdo teórico. Duarte e colaboradores (2010) realizaram uma pesquisa em que entrevistaram alunos de uma escola estadual do Município de Maracanaú-CE e verificaram que a metodologia utilizada pelo professor tem bastante influência no processo de aprendizagem: 86,81% dos entrevistados afirmam que seu desempenho no assunto tratado em sala de aula é diretamente influenciado pela maneira como ele é exposto, e que esse aspecto acarreta dificuldades de aprendizagem.

Em 2007, Silva e Silva verificaram que as aulas sobre isomeria são

realizadas de forma tradicional, através de aulas expositivas descontextualizadas e propedêuticas. Nelas, os professores utilizam, quase que exclusivamente, livros textos, quadro branco, pincel e projetor.

Mas, de acordo com Raupp, Serrano e Moreira (2009), quando o conteúdo de isomeria constitucional é ensinado, a aula dada de forma tradicional não atrapalha o aprendizado dos estudantes em geral, uma vez que conseguem diferenciar os isômeros planos através da fórmula estrutural plana naturalmente, mesmo quando desenhada no quadro. Eles explicam que tal fato pode ser justificado uma vez que esse conteúdo não exige habilidades visuais dos alunos.

De acordo com Silva e Silva (2007), muitas dificuldades encontradas pelos alunos estão relacionadas aos conteúdos apresentados anteriormente ao ensino de Estereoquímica, tais como a nomenclatura orgânica e fórmulas estruturais. Esses tópicos são extremamente utilizados no processo de aprendizagem sobre Estereoquímica e, se os alunos não os dominam, apresentarão muitas dificuldades em temas futuros.

Outro problema encontrado está relacionado ao processo de aprendizagem sobre os conceitos envolvidos no ensino de Estereoquímica, uma vez que são muitos e os discentes acabam se confundindo, ou até mesmo, não entendendo nenhum deles. Mas seu aprendizado é muito importante, como ressalta Almeida e colaboradores (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 (ALMEIDA et al., 2009, p. 1).

O estudo da Química Orgânica é dificultado se não há compreensão adequada das representações utilizadas durante as aulas (ROQUE; SILVA, 2008), principalmente se os alunos apresentarem dificuldades em conteúdos que envolvem análises no espaço (BUENO FILHO, 2010).

Frequentemente, cursos de química orgânica são apontados como fonte de dificuldades conceituais, de evasão e de reprovação,

provavelmente pelo fato de envolver habilidades que exigem manipulação mental de duas ou três dimensões aliadas a conteúdos de natureza conceitual tais como representações moleculares (BARKE; ENGIDA, 2001, apud NASCIMENTO; BUENO FILHO, 2013, p. 1629).

Segundo Torricelli (2007), o aluno precisa ser dotado de uma capacidade de abstração para melhor compreensão do conteúdo apresentado. Mas, muitas vezes, os alunos não dispõem dessa capacidade.

Quando o jovem chega ao ensino médio deveria ter desenvolvido a capacidade de abstração necessária para não precisar manipular continuamente objetos concretos, o que consome um tempo maior e pode particularizar os resultados e as conclusões. É nesse ponto de capacidade de abstração que o jovem estaria apto a elaborar sua estrutura de conhecimento em Química, relacionando-os entre si de forma a facilitar a sua ancoragem (para não dizer memorização lógica e inteligente) e a integração de conhecimento que possam ser adquiridos mais tarde (TORRICELLI, 2007, p. 07).

Cumprir evidenciar que habilidades cognitivas são exigidas dos alunos para o entendimento das entidades químicas associadas aos aspectos espaciais tridimensionais destas, em especial no aprendizado de quiralidade, forma dos orbitais moleculares, ângulo de ligação, distância das ligações e conectividade (AL-BALUSHI, AL-HAJRI, 2014).

Pesquisas mostram que alunos que apresentam maior habilidade espacial desenham as estruturas mais adequadas, resultando em um melhor desempenho quando representam as moléculas (SMALL; MORTON, 1983; PRIBYL; BODNER, 1987).

A visualização é um termo utilizado quando se constrói uma imagem visual na mente, criando uma representação do conteúdo abordado (ALEXANDRE; TAVARES, 2007). Pode funcionar como uma ferramenta cognitiva que utiliza de capacidades perceptivas e cognitivas do aluno, criando informações e construindo novos conhecimentos (DASTANI, 2002).

A visualização na Química é utilizada para expressar qualquer representação não verbal que permite uma interpretação científica. Seria a modelagem ou imaginação, pois se refere às situações que se imaginam ou modelam, para a compreensão do assunto abordado (WARTHA, 2013).

O conteúdo de Estereoquímica é, frequentemente, apontado como um tema difícil e complexo, pois requer visualização e manipulação de moléculas no espaço (BARKE; ENGIDA, 2001). De acordo com Wu e Shah (2004), os alunos precisam ser capazes de comparar as estruturas moleculares, uma vez que apenas a comparação das estruturas em 3D é capaz de revelar a diferença entre os estereoisômeros. Para compreenderem as estruturas, eles precisam visualizar sua configuração tridimensional, manipulá-las mentalmente, além de entender a estrutura molecular tridimensional da mesma em diferentes conformações (RAUPP; SERRRANO; MOREIRA, 2009).

Para o aluno utilizar as representações externas no ensino de Estereoquímica, ele necessita de um conjunto de habilidades cognitivas para se tornar visualmente alfabetizado (GILBERT, 2005; GILBERT, 2008; KOZMA; RUSSELL, 2005; SCHÖNBORN; ANDERSON, 2010). Uma dessas habilidades apontadas é a capacidade de raciocínio dos alunos, o modo de representação proposto e sua compreensão do conceito que o mesmo está estudando (SCHÖNBORN; ANDERSON, 2009; SCHÖNBORN; ANDERSON, 2010).

Barke e Engida (2001) investigaram o nível de compreensão do arranjo espacial de objetos e, também, de átomos e moléculas, de estudantes alemães e etíopes, com idade entre 13 a 20 anos. Os pesquisadores concluíram que a diferença na habilidade espacial que os alunos apresentaram estava relacionada com o currículo das escolas: os alunos alemães de escolas públicas e os alunos etíopes demonstraram, basicamente, as mesmas dificuldades. Já os alunos alemães que estudavam em escolas particulares apresentaram mais facilidade no conteúdo do que os demais, uma vez que seu currículo era diferenciado, o que justificava o desempenho dos alunos.

Ruiz-Chica e colaboradores (1999) afirmam que a dificuldade da visualização tridimensional que os alunos apresentam impede que os mesmos vejam a diferença entre as moléculas, uma vez que elas se diferem apenas no arranjo tridimensional de seus grupos ligantes, e, conseqüentemente, impossibilita a aprendizagem dos conteúdos de Estereoquímica, uma vez que não conseguem diferenciar os isômeros entre si.

Essa dificuldade em visualizar as representações tridimensionalmente começa a aparecer quando as ligações de um carbono quiral são desenhadas nas fórmulas em perspectiva. Ruiz-Chica e colaboradores (1999) apontam que essa representação tridimensional do carbono confunde os estudantes, uma vez que os mesmos não conseguem entender como as ligações de carbono podem se projetar para trás (retaguarda), representado pela cunha tracejada, ou para frente do plano, representado pela cunha sólida. Os autores identificaram em seus alunos baixas habilidades para visualização das projeções das ligações do carbono tetraédrico e na comparação de compostos enantiômeros, posto que os alunos não conseguiram girar as moléculas no espaço, alterando sua conformação, o que impede o aluno de verificar a sobreposição de moléculas quirais.

Se a principal dificuldade citada pelos pesquisadores supracitados é a visualização da estrutura molecular tridimensional, por que não utilizar estruturas bidimensionais, no plano do papel?

Para Kumi e colaboradores (2013), as representações em 2D, como as que são colocadas nos livros didáticos, auxiliam o estudante a aumentar o seu conhecimento conceitual e representacional sobre a molécula estudada. Dessa forma, pela facilidade de visualização e entendimento, as estruturas bidimensionais são mais utilizadas.

As representações bidimensionais são apenas uma aproximação da estrutura tridimensional. Sendo assim, tais representações podem levar o aluno a criar modelos mentais distorcidos, dificultando o aprendizado dos mesmos (STIEFF; BATEMAN; UTTAL, 2005). Mas, existem características e fenômenos moleculares que podem ser explicados apenas através da estrutura molecular tridimensional, o que faz com que as transições entre as representações em 2D e 3D se tornem indispensáveis (RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009).

Ruiz-Chica e colaboradores (1999) argumentaram que os estudantes não familiarizados com as regras de desenho e interpretação das projeções de Fischer podem assumir que a configuração da D-xilose seja a D-ribose, uma vez que apenas se diferem na posição tridimensional de uma hidroxila (FIGURA 35).

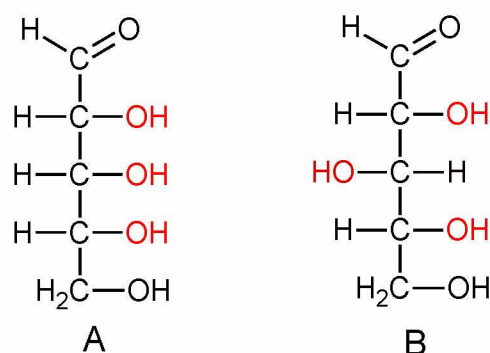


Figura 35: Estruturas da D-(-)-ribose (A) e da D-(+)-xilose (B).

Estudos feitos indicaram que a captação e transposição das informações de moléculas bidimensionais transcritas em tridimensionais foram consideradas uma tarefa especialmente difícil para os alunos realizarem (BODNER; DOMIN, 2000; FERK et al., 2003; JONES; JORDAN; STILLINGS, 2005; KUO et al., 2004).

Este domínio da estrutura 3D se deve ao fato das diferentes conformações que a molécula pode apresentar durante a análise de sobreposição da mesma (RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009). A dificuldade se agrava quando a molécula é rotacionada no espaço, técnica utilizada para obtenção de diferentes conformações da mesma, o que dificulta a transição da fórmula estrutura plana (bidimensional) para a forma tridimensional.

Assim, é preciso ensinar meios de transcrever a estrutura tridimensional da molécula em uma representação bidimensional (KUMI et al., 2013). Mas, o ensino da interconversão das representações tridimensionais para bidimensionais costuma ser negligenciado no ensino de química, uma vez que isso é considerado muito complexo para ser ensinado no Ensino Médio.

Neste escopo, as representações auxiliam os alunos a visualizarem as entidades químicas com vistas à manipulação dos níveis macroscópico (sensorial), simbólico (representacional) e submicroscópico da química. Em consequência, os modelos de “bola e bastão” são os mais utilizados pelos professores para o ensino dos aspectos tridimensionais dos compostos orgânicos (AL-BALUSHI; AL-HAJRI, 2014).

Pode-se dizer que outra dificuldade encontrada no ensino de isomeria espacial é o uso extensivo de representações como um modo de diminuir a

difficuldade encontrada em transitar entre diferentes representações. Estudos mostram que, frequentemente, os alunos não conseguem fazer as translações entre fórmulas, modelos de bolas e varetas, diagramas e suas representações, dificultando o processo de aprendizagem sobre Estereoquímica (FURIÓ, et al., 2000; KEIG; RUBBA, 1993; WU; SHAH, 2004; HAN; ROTH, 2006; GALAGOVSKY, 2004).

Pode-se dizer que a capacidade de visualizar espacialmente é de extrema relevância na aprendizagem, que necessita de habilidades visuoespaciais, uma vez que permite o aluno compreender, além de manipular e transitar entre as representações bi e tridimensionais (WU; SHAH, 2004; RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009; GILBERT, 2005; SILVA; RIBEIRO, 2008).

Dessa forma, afirma-se que, para que a aprendizagem ocorra de forma eficiente, deve-se ser capaz de compreender, interpretar e traduzir facilmente as diferentes formas e tipos de representação, bem como ser capaz de escolher a melhor representação para uma determinada tarefa (GILBERT, 2005).

5.2 O USO DE MODELOS NO ENSINO

Muito utilizados no ensino de Química, os modelos auxiliam tanto professores como alunos em sala de aula.

Os modelos podem representar objetos e fenômenos que não podem ser realizados em sala de aula, o que os torna muito importantes no processo de ensino (HARRISSON; TREAGUST, 2000).

5.2.1 O uso de modelo no ensino de Estereoquímica

Na prática, o ensino de Química Orgânica no Ensino Médio, em sala de aula, consiste no repasse-recepção de conhecimentos que, muitas vezes, não são compreendidos.

Para estimular e resgatar o interesse dos discentes pelas aulas de Química é fundamental que o professor busque metodologias diferenciadas que o auxiliem no processo de ensino-aprendizagem (SOARES; OKUMURA; CAVALHEIRO, 2003).

O desenvolvimento de estratégias modernas e simples é recomendado para dinamizar o processo de aprendizagem em Química (SOARES; OKUMURA; CAVALHEIRO, 2003). É possível citar experiências (OLGUIN et al., 2008; SACHDEV; MOREIRA; CARVALHO, 2011; CORREIA et al. 2010; GIBIN; FERREIRA, 2013) que envolvem outras atividades, tais como experimentos, gincanas, o uso de jogos lúdicos e outros recursos didáticos, que são utilizados para facilitar o processo de ensino-aprendizagem de alunos, tornando também nossos professores mais preparados para lidar com situações que podem ocorrer no dia a dia de sua profissão.

O uso de modelos em sala de aula proporciona um ensino construtivista sociointerativa. Nessa perspectiva, a construção do conhecimento é vista como um processo que emerge das interações sociais, uma vez que promove interações entre os presentes no recinto, tais como professor-aluno e aluno-aluno, ocasionando uma troca de informações que auxiliam na aprendizagem dos mesmos (VYGOTSKY, 1986).

Vários recursos estão sendo utilizados para auxiliar na explicação da estrutura da matéria através do uso de modelos. Esses modelos utilizados apresentam natureza bem variada, podendo ser desde bolinhas e canudos até softwares, mas com a finalidade de facilitar o processo de visualização da representação da estrutura molecular (LIMA; LIMA-NETO, 1999; GIORDAN et al., 2004; RIBEIRO; GRECA, 2003; BELTRAN, 1997).

Mesmo com vários estudos demonstrando as vantagens que o uso de modelos em sala de aula proporciona, é comum encontrar docentes que não os utilizam. Tal situação foi demonstrada em um estudo realizado por Machado (2013) com professores do Distrito Federal sobre o uso de modelos no ensino de isomeria. Nesse estudo, através da aplicação de um questionário prévio, ele verificou que apenas quatro dos dez professores envolvidos na pesquisa afirmaram utilizar modelos em suas aulas.

Continuando com sua pesquisa, Machado (2013) apresentou uma cartilha explicativa, com o objetivo de esclarecer sobre a tipologia de modelos e isomeria ótica para os participantes. Após sua intervenção, o autor verificou que 90% dos

professores passaram a utilizar algum tipo de modelo. Machado pôde concluir que o instrumento informativo utilizado foi efetivo, uma vez que aumentou o número de professores que utilizam esse material (MACHADO, 2013).

Alguns estudos têm discutido como o processo de modelagem pode contribuir na construção do conhecimento (BARAB et al., 2000; VOSNIADOU, 2002, FERREIRA; JUSTI, 2008), onde o envolvimento dos alunos em atividades de modelagem ajuda a promover um entendimento que vai além da memorização de fatos e informações e tende a favorecer o desenvolvimento de um conhecimento flexível e crítico que pode ser aplicado e transferido para diferentes situações e problemas (CLEMENT, 2000).

Vários pesquisadores afirmam que criar e utilizar modelos no ensino de Química auxilia os alunos a conhecer e entender os principais modelos científicos, bem como suas abrangências e limitações, além de desenvolver uma visão adequada sobre os mesmos e sua importância no desenvolvimento científico, tornando-os capazes de criar, expressar e testar seus próprios modelos (COSGROVE; SCHAUVERIEN, 1997; GILBERT, 1997; GILBERT; BOULTER, 1998; GILBERT; BOULTER; RUTHERFORD, 1998; SPITULNIK; KRAJCIK; SOLOWAY, 1998; GRECA; MOREIRA, 2000; HARRISON; TREAGUST, 2000; ERDURAN, 2001; JUSTI; GILBERT, 2003).

Stull, Barret e Herarty (2013) orientam que os modelos concretos e virtuais são fundamentais no ensino e aprendizagem de conteúdos químicos de alto “domínio espacial”. Por sua vez, ao comparar materiais didáticos que se utilizam desses recursos, os autores identificaram que os modelos virtuais geralmente possuem uma maior portabilidade, isto é podem ser visualizados em computadores, retroprojetores, TVs, tabletes e smartphones. Além disso, são mais flexíveis por serem facilmente convertidos de suas representações 3D para 2D.

O computador é um recurso indispensável no mundo globalizado. Seu uso no ensino de Química favorece a busca e a articulação de informações por meio da internet e intranet. Existem diversos conjuntos de programas que permitem, além da redação de textos e construção de tabelas e gráficos, a simulação de experimentos e representação de modelos de moléculas, a troca de informações entre professor e alunos para resolução de exercícios, discussão de problemas e elaboração de relatórios (BOTH, 2007, p. 41).

Os ambientes virtuais permitem que os alunos desenvolvam suas habilidades visuais, dominando a visualização e manipulação espacial das moléculas, facilitando o aprendizado dos mesmos (MOURA; CARDOSO; LAMOUNIER JÚNIOR, 2009). Existem vários estudos que comprovaram essa teoria (WILLIAMSON; ABRAHAM, 1995; NELSON; WILLIAMSON, 1996; WU; KRAJACK; SOLOWAY, 2001; FERK et al., 2003).

O uso de ferramentas que auxiliam na visualização está relacionado diretamente com o aprendizado do aluno, uma vez que diminui a carga cognitiva do processo de visualização mental, permitindo ao aluno que possui essa dificuldade transitar mais facilmente entre vários tipos de representações (BASTOS; MAZZARDO, 2004; COSTA; COUTINHO; CHAVES, 2010) ou rotacionar e transladar mentalmente as moléculas (RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009; SILVA; RIBEIRO, 2008; WU; SHAH, 2004; HABRAKEN, 2004).

Silva e Silva (2007) verificaram as dificuldades encontradas por alunos do ensino médio para aprender sobre os conteúdos de isomeria, tais como reconhecer os compostos isômeros, suas nomenclaturas e respectivas fórmulas estruturais. Para ajudar no processo de ensino, foi utilizado material de multimídia e modelo molecular, facilitando a visualização das moléculas pelos alunos.

Raupp, Serrano e Moreira (2009) trabalharam o conceito de isomeria, utilizando o software ACD/ChemSketch®⁹, como ferramenta didática no ensino do conteúdo citado, uma vez que foi verificado que a dificuldade apresentada pelos alunos foi em visualizar espacialmente as moléculas.

Existem outros softwares disponíveis gratuitamente na internet que também podem ser utilizados como meio facilitador no processo de ensino de Estereoquímica. Dentre vários, pode-se citar o MDL Chime®, ChemDraw® ActiveX/Plugin Viewer 10.0, gopenMol®, Molekel®, Molden®, Visual Molecular Dynamics® (VMD) (WARTHA, 2013).

Geralmente, em sala de aula, a estrutura das moléculas orgânicas costuma

⁹ ACD/ChemSketch® é um software da ACDLabs, cuja versão freeware está disponível para download no endereço: http://www.acdlabs.com/download/chemsk_download.html,

ser representada por modelos espaciais do tipo bola-vareta. Esses modelos podem fornecer importantes informações para associá-las às suas propriedades, mais especificamente quanto à sua estrutura tetraédrica, trigonal plana ou linear e, de modo geral, a conectividade entre os átomos. Na verdade, esses modelos constituem um importante recurso didático para trabalhar as ligações do carbono e montagem de estruturas para, depois, representar as moléculas com as respectivas fórmulas estruturais (BOTH, 2007).

Segundo Giordan (1999), outra vantagem do uso dos modelos tipo pau e bola é a habilidade que é desenvolvida no aluno.

A manipulação de modelos bola-vareta desenvolve no aluno uma habilidade cognitiva muito importante para a compreensão dos fenômenos químicos na dimensão microscópica, que é a espacialidade das representações moleculares (GIORDAN, 1999, p. 48).

Outro fator que favorece o uso desse modelo é que quando o professor utiliza esse recurso em sala de aula, os alunos prestam mais atenção, pois, além de representar uma molécula tridimensionalmente, as cores e tamanhos das bolas do modelo tornam o ensino mais divertido. Com isso, ele promove a associação por semelhança entre o modelo molecular e a molécula propriamente dita (GOIS, GIORDAN, 2007).

De acordo com Souza (2012a), os pesquisadores brasileiros reproduzem os modelos moleculares utilizando material de baixo custo, de forma artesanal.

Nessa perspectiva, Queiroz, Recena e Souza (2010) utilizaram bolas de isopor e varetas para reproduzir um modelo molecular, que foi utilizado em uma aula sobre isomeria, com o intuito de facilitar a visualização espacial das moléculas pelos alunos.

Rodrigues e colaboradores (2011b) também utilizaram um modelo molecular em sala de aula, para auxiliar o ensino de Estereoquímica. O modelo que foi utilizado por eles foi construído juntamente com os alunos de uma turma de 3º ano do ensino médio, um modelo de mão utilizando jornais e cola (RODRIGUES et al., 2011a).

Aproveitando a biodiversidade da flora brasileira, Zan e colaboradores (2010) propuseram um modelo em que os átomos foram feitos de sementes de espécies endêmicas da Amazônia. As sementes utilizadas apresentavam formas, tamanhos e cores diferentes, o que possibilitava a identificação dos átomos no modelo.

Carneiro, Rangel e Lima (2010) também sugeriram um modelo visando a sustentabilidade. Eles utilizaram a fibra de *Mauritia flexuosa* L. f., conhecido popularmente como Buriti, para a representação dos átomos. Para as ligações, os autores utilizaram palitos de dente.

Muitos autores também utilizam materiais de baixo custo para reproduzir os modelos. Almeida, Silva e Carvalho (2010) utilizaram massa de biscoito e palitos de cotonetes reaproveitáveis para a montagem do modelo. Para a diferenciação dos átomos, fizeram pequenas esferas de diferentes cores e tamanhos.

Gonçalves e colaboradores (2009) também utilizaram massa de biscoito como matéria-prima para a confecção do modelo. Porém, eles perceberam que a massa de biscoito ressecava, quebrando com facilidade, diminuindo a durabilidade do mesmo. Dessa forma, utilizaram palitos plásticos de pirulito para representar as ligações químicas. Outros pesquisadores que utilizaram massa de biscoito foram Lopes e pesquisadores (2012) e Prochnow, Santos e Heep (2009).

Outra linha de material que é bem explorada é a de materiais recicláveis. Nessa linha, pode-se citar o trabalho de Valente e Moreira (2007) e Oliveira (2012), dentre outros.

Valente e Moreira (2007) criaram um modelo que utilizava garrafas PET na representação dos átomos, coladas umas às outras nas tampas. Esse modelo apresenta limitações, sendo utilizado apenas para a demonstração de geometria das moléculas. Braga e colaboradores (2010) também utilizaram esse mesmo material para confeccionar seus modelos, que foram utilizados para o ensino de conceitos químicos.

Em seu trabalho, Souza (2012a) propôs um modelo que utilizava esferas extraídas das embalagens de desodorantes e antitranspirantes do tipo roll-on para

representação dos átomos e hastes plásticas de pirulitos para as ligações. As esferas foram pintadas de diferentes cores e perfuradas com um prego aquecido, respeitando os ângulos das ligações.

O uso de modelos moleculares é simples e de grande valia para este propósito, pois apoia a visualização das ligações químicas existentes entre os núcleos atômicos que compõem as moléculas, como também possibilita desenvolver no aluno a percepção do arranjo espacial destas (LIMA; LIMA NETO, 1999).

As limitações que os alunos apresentam podem ser amenizadas quando se utilizam ferramentas que os ajudam a traduzir a representação utilizada, visualizando as interações existentes (STIEFF; BATEMAN; UTTAL, 2005). Dessa forma, eles são capazes de criar um aprendizado coerente sobre os fenômenos estudados, concretizando um aprendizado efetivo (MICHALCHIK et al., 2008).

Driver (1989) afirma que a escolha da teoria ou do modelo a ser utilizado depende da forma como será conduzida a construção do conhecimento.

Segundo Souza (2012a), a escolha do modelo molecular depende dos objetivos do professor, que deve utilizá-lo com critérios bem definidos.

De acordo com Copolo e Hounshell (1995) e Dori e Barak (2001), associar mais de um tipo de representação auxilia os alunos a compreenderem melhor e mais facilmente o conteúdo.

5.3 POR QUE ESTUDAR ESTEREOQUÍMICA?

“Por que estudar e/ou lecionar Estereoquímica?”. Tal pergunta surge com muita frequência quando se começa a estudar esse conteúdo.

O tema da isomeria é pouco enfatizado nos PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio).

De acordo com os PCNEM,

[...] as competências gerais a serem desenvolvidas na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias dizem respeito aos domínios da *representação e comunicação*, envolvendo

a leitura e interpretação de códigos, nomenclaturas e textos próprios da Química e da Ciência, a transposição entre diferentes formas de representação, a busca de informações, a produção e análise crítica de diferentes tipos de textos; da *investigação e compreensão*, ou seja, o uso de ideias, conceitos, leis, modelos e procedimentos científicos associados a essa disciplina; e da *contextualização sociocultural*, ou seja, a inserção do conhecimento disciplinar nos diferentes setores da sociedade, suas relações com os aspectos políticos, econômicos e sociais de cada época e com a tecnologia e cultura contemporâneas (BRASIL, 2006, p. 88).

O conteúdo de isomeria vem vinculado aos conteúdos tradicionais de Química Orgânica, que é incorporado ao currículo formal das escolas (BRASIL, 2006). Mas, é um tema importante para a contextualização da Química Orgânica, uma vez que nos fornece muitas informações de fenômenos do nosso cotidiano.

Como exemplos desses fenômenos, podem-se citar “mecanismos de ação de feromônios, da visão, dos efeitos colaterais de medicamentos como a talidomida”, entre outros (BOTH, 2007, p. 144).

Ainda segundo o autor, reconhecer os isômeros e relacioná-los com fenômenos é extremamente relevante, principalmente para compreender características que estão relacionadas com suas estruturas e propriedades.

Como exemplo, podem-se citar o ácido fumárico e o ácido maleico (FIGURA 36). Esses dois compostos são exemplos de isomeria geométrica (cis/trans). O ácido fumárico pode ser encontrado em fungos e líquens e alguns vegetais como aipo e fumaria. É formado no metabolismo de glicídios, além de ser usado em balas e bebidas como acidulante. Já o ácido maleico aparece em pequenas quantidades nas sementes de maçã e é ligeiramente tóxico (BOTH, 2007).

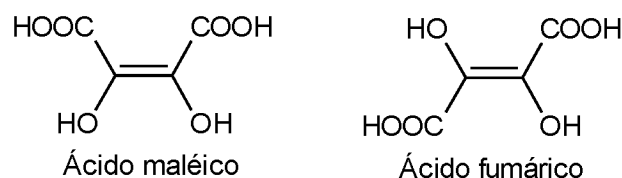


Figura 36: Estruturas dos ácidos maleico e fumárico (BRUICE, 2006, p. 228).

Outro exemplo de isomeria geométrica é o óleo oleico e o óleo elaídico (FIGURA 37), presentes em óleos vegetais. Nesses óleos predominam os ácidos graxos, uma vez que são formados por triglicerídeos. O ácido elaídico (configuração E \rightarrow Entgegen = oposto) é pouco comum nesses óleos. Ele é um dos responsáveis

pela formação do LDL (*Low Density Lipoproteins*, que significa lipoproteínas de baixa densidade), o mau colesterol, sendo prejudicial à saúde. O ácido oleico (configuração Z \rightarrow Zusammen = juntos, do mesmo lado) é um componente importante da gordura de manteiga (BOTH, 2007; KLEIN, 2016).

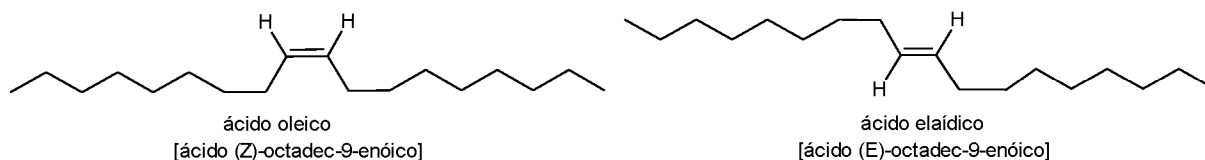


Figura 37: Estruturas do ácido oleico e do ácido eláídico (adaptado de KLEIN, 2016, p. 496).

No caso da Estereoquímica, quando se vai contextualizar esse conteúdo, o caso da talidomida vem à tona. Ela é indicada para o tratamento de náuseas no início da gravidez, por se tratar de um sedativo leve e calmante (antiemético). Quando lançado, na década de 1950, era vendida como mistura racêmica (partes iguais dos dois enantiômeros) e seu uso era considerado seguro (OLIVEIRA; BERNUDEZ; SOUZA, 1999; SILVEIRA et al., 2001; COELHO, 2001; SOUZA, 2012b; BARROS et al., 2012).

Soube-se, no início da década de 1960, que o estereoisômero (-) possuía o efeito terapêutico desejado, enquanto que o estereoisômero (+) possuía efeitos teratogênicos (do grego *terás* = monstro; *gene* = origem), que levava à má formação congênita, afetando o desenvolvimento dos membros dos bebês (COELHO, 2001; SOUZA, 2012b).

As estruturas dos estereoisômeros [(+) e (-)] da talidomida estão representadas na figura 38.

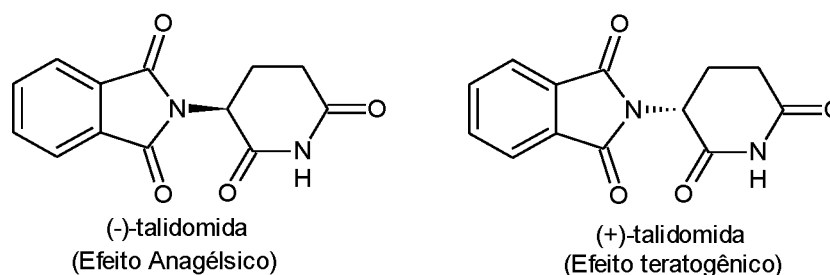


Figura 38: Estruturas dos estereoisômeros [(+) e (-)] da talidomida (adaptado de SOUZA, 2012b, p. 51).

A talidomida foi considerada um dos fármacos mais populares na década de 50, sendo consumida em 46 países por milhões de pessoas. Depois da tragédia, foi

retirada do mercado, servindo de exemplo como um medicamento pouco testado antes de sua aprovação (SILVEIRA et al., 2001).

Hoje, no início do século XXI, a talidomida é utilizada em tratamentos dermatológicos, como é caso da hanseníase, úlcera aftosa associada à imunodeficiência e lúpus eritematoso (TALIDOMIDA, s.d.).

Outra utilização da talidomida é como imunossupressora para evitar rejeição no tratamento de pacientes submetidos a transplante de medula ou de rim. Também é utilizada no tratamento da AIDS, da artrite reumatoide, da tuberculose crônica e das doenças de Becet e de Crohn (MASSABNI, 2010).

Outro exemplo de que a presença do carbono quiral altera as propriedades do composto ocorre entre os medicamentos Darvon e Novrad, cujas estruturas estão representadas na figura 39. Darvon, também chamado de dextropropoxifeno, é um medicamento analgésico da família dos opioides, indicado para dor leve a moderada (SOLOMONS; FRYHLE, 2012; DARVON, 2009), enquanto que o Novrad, ou levopropoxifeno, é um antitussígeno (supressor da tosse) (SOLOMONS; FRYHLE, 2012; KLEIN, 2016).

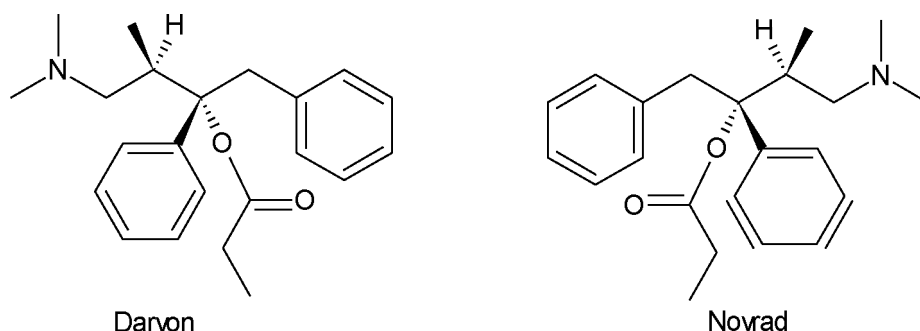


Figura 39: Estruturas dos estereoisômeros Darvon e Novrad (adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012, p. 189).

Os fármacos podem ser naturais ou artificiais. Quando naturais, são encontrados em sua forma enantiomérica pura. Já os artificiais, são produzidos, na maioria das vezes, como uma mistura, dependendo da quantidade de carbonos quirais presentes na estrutura, onde apenas um estereoisômero apresenta propriedades medicinais. Os demais estereoisômeros produzidos não possuem nenhum efeito ou causam reações colaterais (BOTH, 2007).

De acordo com Klein (2016), a ação de um fármaco depende de sua ligação com um receptor. O fármaco deve-se ligar em pelo menos três pontos do receptor, formando a chamada ligação de três pontos. Devido à estrutura tridimensional do composto, apenas um enantiômero do fármaco será capaz de se ligar ao receptor (sistema “chave-fechadura”). Por essa razão, os enantiômeros raramente produzirão a mesma resposta biológica.

O ibuprofeno é um medicamento anti-inflamatório não esteroide encontrado em medicamentos como Advil, Motrin ou Nuprin, utilizado para o alívio de cefaleia, lombalgia, de gripes e resfriados comuns, dor de dente, dores musculares, dismenorreia e de artrite. (ADVIL (IBUPROFENO), 2013; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

O ibuprofeno é comercializado em sua forma racêmica, onde o enantiômero (+) do ibuprofeno é o agente ativo. Já o enantiômero (-) não possui ação anti-inflamatória, mas é convertido lentamente no enantiômero (+), pelo nosso organismo. Se o ibuprofeno fosse comercializado em sua fórmula pura do enantiômero (-), sua ação seria muito mais eficaz (KLEIN, 2016; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

A figura 40 mostra as estruturas das formas enantioméricas do (+) e (-)-ibuprofeno.

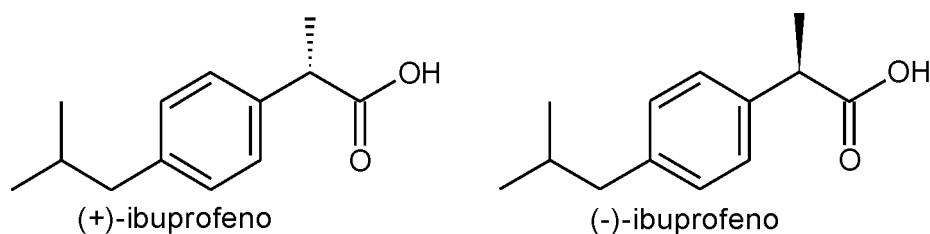


Figura 40: Formas enantioméricas do (+) e (-)-ibuprofeno (KLEIN, 2016, p. 205).

Para a indústria farmacêutica, é muito caro produzir apenas o estereoisômero de interesse, também chamado de drogas quirais, o que torna o produto final inacessível para grande parte da população (BOTH, 2007).

Na linha de medicamentos, outros exemplos podem ser citados. O quadro 2 mostra a relação de fármacos opticamente puros que são comercializados em farmácias.

Quadro 2: Exemplos de fármacos comercializados opticamente puros

Fármaco	Nome na farmácia	Classe terapêutica	Vendas mundiais (milhões, US\$)
Amoxicilina	Amoxil®, Novocilin®	Antibiótico	2000
Ampicilina	Binotal®	Antibiótico	1800
Captopril	Capoten®	Controle de pressão	1520
Enalapril	Renitec®	Controle de pressão	1500
Ibuprofeno	Motrin®	Anti-inflamatório	1400
Cefaclor	Ceclor®	Antibiótico	1040
Naproxen	Naprosyn®	Anti-inflamatório	950
Cefalexina	Keflex®	Antibiótico	900
Lovastatina	Lovastatina®	Controle de colesterol	750

Fonte: Dicionário de Medicamentos Genéricos Zanini-Oga, 1999, apud Coelho, 2001.

Mas, não são apenas os medicamentos que podem ser citados como exemplos em uma aula de Estereoquímica. Outros compostos que possuem carbono quiral em suas estruturas também podem apresentar enantiômeros com características diferentes.

Nesse contexto, pode-se citar a carvona. Em sua estrutura tem um carbono quiral, o que resulta em um par de enantiômeros (FIGURA 41). Seus enantiômeros apresentam diferentes odores: um enantiômero exala odor de hortelã enquanto o outro, de sementes de cominho (KLEIN, 2016).

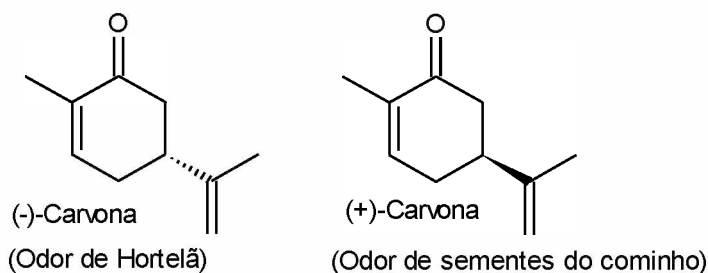


Figura 41: Estruturas dos estereoisômeros da carvona (adaptado de KLEIN, 2016, p. 199).

Essa detecção dos odores exalados pelas formas enantioméricas é possível por causa dos receptores quirais que o organismo humano possui. Assim, um enantiômero liga-se a receptores específicos, criando um padrão que o cérebro interpreta como um determinado odor. Dessa forma, diferentes receptores geram diferentes padrões, resultando em diferentes odores, através da interação entre moléculas quirais (SOLOMONS; FRYHLE, 2012; KLEIN, 2016).

Para compreender a razão disso, considere a seguinte analogia. A mão direita cabe dentro de um saco de papel tanto quanto cabe a mão esquerda, pois o saco de papel não é quiral. Entretanto, uma mão direita não se ajusta tão bem a uma luva esquerda como esta se

ajustará à mão esquerda, porque a luva é quiral. De modo semelhante, se um receptor é quiral, como geralmente é o caso, então podemos esperar que apenas um enantiômero de um par irá se ligar a ele (KLEIN, 2016, p. 199).

A molécula do limoneno é um exemplo de como as moléculas quirais nos afetam. O limoneno possui um centro de quiralidade, o que resulta em duas formas enantioméricas. Enquanto o (+)-limoneno exala cheiro de laranja, o (-)-limoneno, o cheiro de limão (SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

A figura 42 mostra as estruturas dos dois enantiômeros do limoneno.

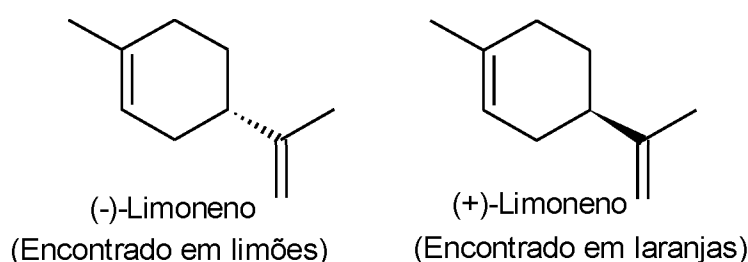


Figura 42: Formas enantioméricas do limoneno (adaptado de SOLOMONS; FRYHLE, 2012, p. 197).

Segundo Islas e Buhse (2007), as moléculas dos receptores nasais podem sentir a diferença entre enantiômeros de certos agentes químicos, assim como sente-se a diferença de colocar o sapato esquerdo no pé direito e vice-versa. Sabe-se que a diferenciação entre os aromas surge porque os enantiômeros D-(+)-limoneno entram em contato com as células sensoriais nervosas do nariz e geram uma resposta olfativa quando se é exposto à laranja, enquanto que o L-(-)-limoneno é apreciado quando em contato com o limão. Essa comparação entre os enantiômeros do limoneno sobre sua propriedade organoléptica, o cheiro, torna explícita como a composição tridimensional da molécula realmente afeta as propriedades físico-químicas da matéria.

Existem muitos outros compostos, além dos citados anteriormente, que mostram que os estereoisômeros estão presentes em nosso dia a dia, tais como comportamento biológico de animais, atuação de enzimas no nosso organismo, entre outros.

Dessa forma, é importante que o aluno seja capaz de compreendê-los. E para que haja essa compreensão, é indispensável aprender os conceitos e entender

que uma mera modificação na estrutura espacial pode alterar os efeitos fisiológicos apresentados pelo estereoisômero (BOTH, 2007).

6 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, atuei como pesquisadora e professora que lecionava a disciplina nas turmas pesquisadas, com o intuito de estudar processo de ensino de Estereoquímica, além de propor um modelo de ensino que auxiliasse professores e alunos em sala de aula, bem como verificar se o mesmo cumpre com seus propostos.

A pesquisa que propomos é de abordagem qualitativa, que, de acordo com André (1995), é definida como aquela que não envolve tratamento experimental ou manipulação de dados numéricos, levando em conta as interações e influências do meio onde a mesma ocorre.

Gerhardt e Silveira (2009) afirmam que

os pesquisadores que utilizam os métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos, pois os dados analisados são não-métricos (suscitados e de interação) e se valem de diferentes abordagens (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 32).

Para classificarmos nossa pesquisa como qualitativa, verificamos se a mesma apresentava as cinco características descritas por Bogdan e Biklen (1994). São elas:

- 1) “Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal” (BOGDAN; BIKLEN 1994, p. 47). O pesquisador frequenta o local da pesquisa, observando e registrando, pois se preocupa com o contexto, além do fato de poder rever sempre que necessário o material produzido.
- 2) “A investigação qualitativa é descritiva” (BOGDAN; BIKLEN 1994, p. 48). Não há dados numéricos, uma vez que os dados recolhidos são imagens ou descrições de entrevistas questionários, entre outros.
- 3) “Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que

simplesmente pelos resultados ou produtos” (BOGDAN; BIKLEN 1994, p. 49). Os pesquisadores focam mais em como acontece do que nos resultados obtidos.

- 4) “Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva” (BOGDAN; BIKLEN 1994, p. 50). Os pesquisadores não criam uma teoria prévia para ser confirmada pela pesquisa, mas fazem suas hipóteses a partir da análise dos dados coletados.
- 5) “O significado é de importância vital na abordagem qualitativa” (BOGDAN; BIKLEN 1994, p. 50). O pesquisador se interessa pelo que dá sentido ao fato, em como as pessoas se comportam e o que as leva a esse comportamento.

Os investigadores qualitativos estabelecem estratégias e procedimentos que lhes permitam tornar em consideração as experiências do ponto de vista do informador. O processo de condução de investigação qualitativa reflete uma espécie de diálogo entre os investigadores e os respectivos sujeitos, dado estes não serem abordados por aqueles de uma forma neutra (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 51).

Analisando essas características citadas por Bodgan e Biklen (1994), podemos perceber que, na pesquisa qualitativa, o pesquisador está sempre em contato com o público-alvo, vivenciando as experiências do mesmo.

Para a realização da pesquisa, os participantes da investigação devem estar cientes da mesma, participando voluntariamente e consentindo o uso dos dados levantados. O investigador deve ser claro com suas intenções e autêntico na descrição dos resultados (BOTH, 2007).

De acordo com Bodgan e Biklen (1994), esse tipo de pesquisa nos permite direcionar o estudo nos contextos profissionais, avaliando, desde a metodologia utilizada pelo docente à aceitação por parte dos alunos, em relação à disciplina e ao professor, uma vez que ela é variável e pode ser conduzida de diversas formas (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Alves (1991) sugere que três etapas devem ser executadas quando se pesquisa qualitativamente.

- I. **Período exploratório:** nessa primeira etapa, o pesquisador deve explorar o

tema que se propôs a pesquisar, bem como conhecer a estrutura do mesmo. Deve conhecer o campo de pesquisa, observando-o para maximizar sua procura por dados, seja ela por informantes ou outras fontes.

II. Investigação focalizada: depois do primeiro contato, deve elaborar a investigação do tema, que pode ser realizada através de questionários, formulários, projetos de intervenções, observações, entrevistas e outros que o pesquisador julgar pertinente para obter dados para auxiliar no estudo em questão.

III. Análise final: refere-se à análise e interpretação dos dados obtidos em campo, para que corrobore a teoria do pesquisador, tornando possível a elaboração do relatório.

O próximo passo é definir quais os métodos de pesquisa que serão utilizados, baseando-se nas características da mesma. Vale ressaltar que mais de uma modalidade poderá ser utilizada (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). De acordo com as características observadas neste trabalho, selecionamos dois métodos: o estudo de campo e a pesquisa-ação.

Segundo Gil (2002), o estudo de campo tem foco em uma comunidade, que não necessariamente é a geográfica, podendo ser uma comunidade estudantil, esportiva, profissional ou qualquer outra bem definida. De forma bem simples, a pesquisa é feita por meio de observação direta dos comportamentos e fatos da comunidade estudada e através de entrevistas e questionários aplicados aos participantes da mesma.

O estudo de campo apresenta algumas vantagens em relação principalmente aos levantamentos. Como é desenvolvido no próprio local em que ocorrem os fenômenos, seus resultados costumam ser mais fidedignos. Como não requer equipamentos especiais para a coleta de dados, tende a ser bem mais econômico. E como o pesquisador apresenta nível maior de participação, torna-se maior a probabilidade de os sujeitos oferecerem respostas mais confiáveis. O estudo de campo apresenta, no entanto, algumas desvantagens. De modo geral, sua realização requer muito mais tempo do que um levantamento. Como, na maioria das vezes, os dados são coletados por um único pesquisador, existe risco de subjetivismo na análise e interpretação dos resultados da pesquisa (GIL, 2002, p. 53).

Nesse tipo de pesquisa, a participação ativa do pesquisador na coleta de

dados é muito importante e feita pessoalmente, pois a experiência direta com a situação de estudo é muito enfatizada e valorizada (GIL, 2002). Geralmente, podem ser conjugados outros procedimentos de coleta de dados, como filmagem, análise de documentos e fotografias.

A seguir, descrevemos sobre a pesquisa que realizamos, caracterizando o local de pesquisa e as atividades desenvolvidas, bem como os participantes de cada etapa desenvolvida.

6.1 LOCAL DA PESQUISA

A escola onde a pesquisa foi realizada pertence à rede federal, oferece ensino médio técnico e ensino superior (licenciatura e bacharelado), com aulas nos turnos matutino, vespertino e noturno. Localizada em Itumbiara-GO e atende alunos e professores da própria cidade e região.

A entrada dos alunos é feita através de processos seletivos (cursos técnicos) e vestibulares (ensino superior), realizados anual e semestralmente, respectivamente. São oferecidas 30 vagas a cada entrada nos cursos disponibilizados pela escola.

A escola trabalha com os livros fornecidos pelo governo federal pelo Programa Nacional de Livro Didático (PNLD), e os docentes escolhem os livros a serem utilizados. O livro escolhido pelos docentes dessa instituição foi a coleção da Química, de autoria de Martha Reis Marques da Fonseca, editora Ática, ano de 2013.

A escola conta com laboratórios de química, física, biologia, microbiologia e águas e efluentes. Também conta com laboratórios de informática, além de possuir datashow instalado em todas as salas.

A escolha desse estabelecimento de ensino se deu devido ao fato de que é o local onde trabalho, permitindo acesso aos alunos; além disso, a escola é receptiva às novas metodologias.

6.2 A COLETA DE DADOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, elaboramos e aplicamos materiais e instrumentos avaliativos, a fim de coletar dados para a análise do ensino de Estereoquímica. Nossa pesquisa foi realizada em três fases, conforme é descrito abaixo:

- ✓ Levantamento das dificuldades que são encontradas no ensino de Estereoquímica;
- ✓ Construção do modelo proposto e
- ✓ Verificação da viabilidade do modelo proposto.

A seguir, apresentaremos as atividades realizadas e o material proposto na coleta de dados em cada fase, bem como os instrumentos de coleta utilizados.

6.2.1 Levantamento das dificuldades que são encontradas no ensino de Estereoquímica

A primeira fase de nossa pesquisa foi realizada a fim de conhecer quais são as dificuldades encontradas por professores e alunos no processo de ensino-aprendizagem do conteúdo de Estereoquímica.

Assim, para a obtenção desses dados, realizamos duas atividades envolvendo os professores de Química.

6.2.1.1 Aplicação de questionários aos professores

O instrumento de avaliação utilizado nesse primeiro momento foi o questionário, que é uma técnica de investigação que busca o conhecimento sobre determinado assunto, composta por um determinado número de questões que são apresentadas por escrito às pessoas participantes da pesquisa (GIL, 1999).

De acordo com Marconi e Lakatos (2002), o uso de questionários nesse tipo de pesquisa se dá por diversos fatores, tais como:

- ✓ Atinge maior número de pessoas simultaneamente;
- ✓ Obtém respostas mais rápidas e mais precisas;
- ✓ Há maior liberdade nas respostas, em razão do anonimato;
- ✓ Há mais segurança, pelo fato de as respostas não serem identificadas;
- ✓ Há menos risco de distorção, pela não influência do pesquisador;
- ✓ Há mais uniformidade na avaliação, em virtude da natureza impessoal do instrumento.

Dessa forma, a primeira atividade realizada foi a aplicação de um questionário para professores de Química. O questionário aplicado se baseava em perguntas discursivas, com o tema o ensino de Estereoquímica, abordando métodos e materiais utilizados, além das principais dificuldades encontradas.

O objetivo foi verificar como os professores ensinavam o conteúdo de Estereoquímica e quais as dificuldades eles encontravam durante as aulas. Também perguntamos quais metodologias eles utilizavam para diminuir e/ou sanar as dúvidas que encontravam, a fim de melhorar o processo de aprendizagem.

Assim, inicialmente, foram selecionados vinte professores de Química de escolas das redes pública, estadual e federal, e particular da cidade de Itumbiara-GO e região.

A seleção dos professores que participariam da pesquisa contou com pré-requisito: o professor deveria lecionar ou ter lecionado Química Orgânica durante sua carreira de magistério, especificamente o conteúdo de Estereoquímica. Assim, dois desses professores foram retirados da pesquisa, pois ainda não tinham lecionado Química Orgânica.

Dessa forma, aplicamos um questionário (APÊNDICE 1) para os 18 professores selecionados. Também solicitamos que os participantes assinassem um termo de consentimento (APÊNDICE 2), no qual concordavam com a participação na pesquisa e autorizavam a divulgação dos dados obtidos.

6.2.1.2 Entrevista semiestruturada com professores

Segundo Gil (1999), a entrevista é a técnica de levantamento de dados mais flexível de todas as técnicas. Para Marconi e Lakatos (2002, p. 92) “trata-se (...) de uma conversação efetuada face a face, de maneira metódica; proporciona ao entrevistador, verbalmente, a informação necessária”.

O termo entrevista é construído a partir de duas palavras, entre e vista. Vista refere-se ao ato de ver, ter preocupação com algo. Entre indica a relação de lugar ou estado no espaço que separa duas pessoas ou coisas. Portanto, o termo entrevista refere-se ao ato de perceber realizado entre duas pessoas (RICHARDSON et al., 1999 p. 207).

Segundo Rosa e Arnoldi (2006), as vantagens que as entrevistas apresentam são:

Permitem a obtenção de grande riqueza informativa – intensiva, holística e contextualizada – por serem dotadas de um estilo especialmente aberto, já que se utilizam de questionamentos semi-estruturados. Proporcionam ao entrevistador uma oportunidade de esclarecimentos, junto aos segmentos momentâneos de perguntas e respostas, possibilitando a inclusão de roteiros não previstos, sendo esse um marco de interação mais direta, personalizada, flexível e espontânea. Cumprem um papel estratégico na previsão de erros, por ser uma técnica flexível, dirigida e econômica que prevê, antecipadamente, os enfoques, as hipóteses e outras orientações úteis para as reais circunstâncias da investigação, de acordo com a demanda do entrevistado, propiciando tempo para a preparação de outros instrumentos técnicos necessários para a realização, a contento, da entrevista (ROSA; ARNOLDI, 2006, p. 87).

Para essa etapa, selecionamos cinco professores para fazermos uma entrevista semiestruturada, cujo roteiro é mostrado no Apêndice 3. Três desses professores responderam o questionário. Os outros dois professores participaram apenas da entrevista, uma vez que os mesmos estavam ausentes quando os questionários foram aplicados.

Os professores selecionados foram professores supervisores do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID). Tal escolha foi baseada na acessibilidade dos mesmos, além da disposição em participar desta pesquisa.

Para tal entrevista, os professores assinaram um termo de consentimento (APÊNDICE 4), autorizando a divulgação dos dados coletados. Com permissão dos professores, as entrevistas foram gravadas, e posteriormente, transcritas.

A entrevista foi baseada nas mesmas perguntas do questionário, dando liberdade ao entrevistado de relatar situações que não foram abordadas pelas perguntas escritas, uma vez que a entrevista possuía um roteiro inicial, mas que poderia ser adequado de acordo com as respostas fornecidas pelos entrevistados.

As entrevistas foram transcritas para posterior análise. Estas foram analisadas, discutidas e apresentadas nos resultados deste trabalho.

6.2.2 Construção do modelo proposto

Depois de coletados os dados dos questionários e das entrevistas, foi proposta uma metodologia que busca auxiliar os alunos no aprendizado de Estereoquímica.

A solução veio através do uso de transparências, tornando possível demonstrar a sobreposição das moléculas em diferentes representações, do ponto de vista do aluno, além de demonstrar como girar espacialmente a molécula para a comparação entre elas.

Essa metodologia é um modelo misto, que, de acordo com Gilbert e Boulter (2000), pode ser classificado como modelo concreto visual, uma vez que é fabricado com materiais tridimensionais (papel A4 e transparências) e contém simulações (as estruturas que foram impressas).

Esse tipo de modelo foi o escolhido por ser mais simples de se utilizar, uma vez que não requer condições especiais para isso, além de ser produzido com materiais de baixo custo e de fácil acesso, facilitando sua aquisição, seja por parte da escola, do professor ou do próprio aluno.

O modelo consiste de estruturas moleculares desenhadas em fórmulas de projeção em perspectivas (ou Fischer) e impressas em folhas A4 e transparências,

com o objetivo de permitir a visualização das sobreposições das moléculas, facilitando o processo de ensino dos conteúdos de Estereoquímica.

6.2.2.1 A escolha das moléculas utilizadas no modelo

A ideia inicial para o desenvolvimento do modelo proposto foi criar modelos para demonstrar cada tipo de estereoisômero (enantiômero, diastereoisômero e mesocomposto). Dessa forma, criamos três modelos distintos, e cada um exemplificou um tipo de estereoisômero.

Para a construção do modelo, utilizamos papel tamanho A4 e transparências (retroprojeter) e o software ChemSketch® (ACD/ChemSketch Freeware, 2010). As estruturas moleculares que serão desenhadas devem ser escolhidas de acordo com o estereoisômero a ser demonstrado pelo modelo.

Para a confecção do modelo de enantiômero, foi proposto um modelo que continha a estrutura da molécula do butan-2-ol. Tal escolha foi baseada na quantidade de centros estereogênicos contidos na molécula apresentada (apenas um carbono quiral), o que resultava em dois estereoisômeros não sobreponíveis.

Para o modelo do mesocomposto, escolhemos a molécula da substância 2,3-dicloro-butano, uma vez que esta apresenta um plano de simetria em sua estrutura, levando a estereoisômeros sobreponíveis.

Já a criação do modelo do diastereoisômero, utilizamos a molécula do 2-cloro-butan-2-ol, pois apresentava dois centros estereogênicos e nenhum plano de simetria em sua estrutura.

Dessa forma, produzimos os modelos e aplicamos os mesmos em sala de aula para 24 alunos, em um teste piloto, para verificarmos se seria necessária alguma alteração nos mesmos.

O teste mostrou que o uso dos modelos, da forma que foi realizado, não foi satisfatório. Um dos pontos negativos observado foi o número de impressões que tivemos que utilizar durante a aula. Por serem três modelos diferentes, a quantidade de estruturas a serem mostradas e comparadas causou uma pequena confusão na apresentação e, conseqüentemente, no aprendizado dos alunos.

Outro ponto negativo que podemos ressaltar é o fato de se ter um modelo diferente para cada tipo de estereoisômeros. Nesse caso, os alunos assimilaram que cada molécula estava relacionada com um tipo de estereoisômero. Eles não conseguiram visualizar que a comparação entre os estereoisômero é que define sua classificação.

Com base nesse teste, a ideia inicial foi alterada e, ao invés de propormos um modelo para cada tipo de estereoisômero, propusemos um modelo que apresentasse todos os tipos de estereoisômeros, permitindo explicar todas as classificações dos isômeros ópticos.

Dessa forma, foi preciso pensar em uma molécula que apresentasse exemplos de enantiômeros, diastereoisômeros e mesocompostos quando seus isômeros fossem desenhados. Essa molécula deveria apresentar, no mínimo, dois centros de quiralidade (para obter diastereoisômeros), além de um plano de simetria (por causa do mesocomposto).

Para produzirmos o modelo final, utilizamos a molécula do ácido tartárico (FIGURA 9, p. 33), uma vez que ela apresenta todas as características necessárias descritas no parágrafo anterior. Outro fator que contribuiu para a escolha foi o contexto histórico desse composto para a Química Orgânica.

Analisando a estrutura do ácido tartárico, nota-se que a mesma apresenta dois carbonos quirais, o que fornece quatro isômeros ópticos (ou quatro estereoisômeros) (FIGURA 10, p. 33). Depois desse estudo prévio da molécula do ácido tartárico e utilizando o software ChemSketch® (ACD/ChemSketch Freeware, 2010), desenhemos todos os estereoisômeros do mesmo, em fórmulas de projeção em perspectiva e em fórmulas de Fischer. Com todas as estruturas desenhadas, o próximo passo foi imprimir essas estruturas. Para tal, utilizamos folhas de papel e transparências A4.

6.2.3 Verificação da viabilidade do modelo proposto

A terceira etapa da pesquisa foi realizada a fim de verificar se o modelo que desenvolvemos auxilia professores e alunos enquanto estudam o conteúdo de Estereoquímica.

Para tal verificação, realizamos três atividades, sendo duas delas com os alunos envolvidos nesta pesquisa, e outra, com os professores que participaram da primeira entrevista semiestruturada, conforme relatamos a seguir.

6.2.3.1 Utilização do Modelo Proposto e Aplicação de Questionário para os Alunos

A próxima etapa da pesquisa foi utilizar o modelo que produzimos. Assim, ele foi utilizado durante as aulas de Estereoquímica com alunos do terceiro ano do curso Técnico Integrado Integral em Química do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara (IFG – Câmpus Itumbiara).

O público-alvo escolhido foram alunos do 3º Ano, uma vez que este conteúdo é estudado nessa série. Para a realização da atividade, selecionamos sessenta alunos e os dividimos em três turmas de vinte alunos cada. Para facilitar, chamaremos essas turmas de A, B e C.

Para o levantamento de dados da atividade, ministramos a aula sobre os tipos de estereoisômeros, explicando os conceitos envolvidos nesse conteúdo, além de demonstrar como identificar cada um deles; o plano que embasou a aula se encontra no apêndice 5. Em um primeiro momento, utilizamos o modelo tipo pau e bola, a fim de mostrar ao aluno a estrutura tridimensional da molécula, para que o mesmo pudesse criar seu modelo mental. Ainda utilizando esse modelo, demonstramos também como é a sobreposição de dois estereoisômeros, bem como a não sobreposição dos mesmos.

A seguir, introduzimos o modelo que desenvolvemos, o qual será chamado de modelo de transparências. Utilizando o modelo, demonstramos a sobreposição e a não sobreposição de estereoisômeros.

Enquanto utilizávamos os dois modelos descritos anteriormente, demonstramos que a molécula sofre rotações espaciais para que sua conformação seja alterada, possibilitando a comparação da sobreposição entre os estereoisômeros, podendo assim, classificá-los.

Para a realização da atividade de utilização do material didático, foram necessárias duas aulas de quarenta e cinco minutos, totalizando um período de uma hora e meia para cada turma.

Após a aula sobre Estereoquímica, solicitamos aos alunos que respondessem a um questionário (APÊNDICE 6), para avaliação do método apresentado, a fim de se coletarem informações a respeito da aceitação ou não da nova estratégia pelos alunos. O questionário continha perguntas discursivas que abordavam sobre o modelo demonstrado e se ele os havia auxiliado no aprendizado do conteúdo.

Vale ressaltar que, antes da aula, explicamos sobre a finalidade da atividade, e verificamos se os mesmos concordavam em participar da pesquisa. Assim, solicitamos que aos alunos assinassem um termo de consentimento (APÊNDICE 7), autorizando o uso das informações prestadas.

6.2.3.2 Atividade aplicada aos alunos

Participou da atividade apenas a turma C, composta por vinte alunos, uma vez que essa atividade foi proposta posteriormente à realização das outras atividades da pesquisa.

A atividade (APÊNDICE 8) consta de exercícios que pedem ao aluno para desenhar uma molécula em diferentes fórmulas estruturais. O objetivo da atividade é verificar como o aluno visualiza a molécula no espaço e se o mesmo compreende as diferentes representações das estruturas moleculares e a transição entre elas.

Para a realização dessa atividade, utilizamos uma aula de quarenta e cinco minutos, na qual o aluno respondeu os exercícios, podendo utilizar livros e anotações quando julgasse necessário.

Solicitamos que o aluno assinasse um termo de consentimento (APÊNDICE 9), permitindo que os dados fossem utilizados nesta pesquisa.

6.2.3.3 Apresentação do modelo e entrevista semiestruturada com os professores

Outra atividade realizada posteriormente foi a apresentação do modelo de transparências a professores de Química, seguida de uma entrevista semiestruturada. O roteiro dessa entrevista se encontra no apêndice 10.

O público dessa atividade foram os cinco professores do PIBID, que foram entrevistados anteriormente e foram realizadas individualmente, pois, devido às atividades e compromissos particulares dos professores, não conseguimos realizá-las com todos ao mesmo tempo.

A atividade teve por finalidade apresentar o modelo proposto nesta pesquisa a estes professores, para averiguar sobre a usabilidade do mesmo. Já a entrevista semiestruturada teve como objetivo verificar qual a opinião dos professores sobre o modelo apresentado.

Inicialmente, explicamos sobre a pesquisa e solicitamos que os professores assinassem o termo de consentimento (APÊNDICE 11), permitindo que os resultados obtidos fossem divulgados.

Em seguida, explicamos o modelo de transparências, demonstrando como utilizar o mesmo. Também explicamos como se deu seu desenvolvimento, bem como seus objetivos. A entrevista ocorre após essa apresentação e aborda sobre o modelo, sua utilização, viabilidade e dúvidas.

As entrevistas foram transcritas para posterior análise.

6.3 SOBRE OS TERMOS DE CONSENTIMENTOS

Para a realização deste trabalho, propusemos várias atividades e as executamos com diferentes participantes, a fim de coletar dados para embasar a pesquisa realizada.

A finalidade de cada uma dessas atividades desenvolvidas foi devidamente explicada aos participantes, antes de o mesmo desempenhá-las, e, uma vez que concordasse em participar da pesquisa, solicitávamos a assinatura de um termo de consentimento, no qual o participante nos autorizava divulgar os resultados obtidos, além de garantir seu anonimato.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de Estereoquímica é permeado por várias dificuldades. É considerado um assunto complexo tanto por professores quanto por alunos.

Tal fato nos motivou a realizar este trabalho, buscando novas metodologias que auxiliem o processo de ensino, que diminuam e/ou sanem as dificuldades encontradas pelo envolvido nesse processo de aprendizagem.

Os resultados que apresentaremos a seguir são fruto do trabalho que visa à melhoria no processo de ensino-aprendizagem do conteúdo de Estereoquímica.

7.1 LEVANTAMENTO DAS DIFICULDADES QUE SÃO ENCONTRADAS NO ENSINO DE ESTEREOQUÍMICA

A primeira parte desta pesquisa foi realizada com professores de Química da cidade de Itumbiara/ GO e região. A mesma foi dividida em duas etapas, sendo a primeira a aplicação do questionário e a segunda, a realização de uma entrevista semiestruturada. Os resultados são mostrados a seguir.

7.1.1 Aplicação de questionários aos professores

Participaram dessa etapa dezoito professores de Química, que lecionam e/ou lecionaram Química Orgânica, especificamente o conteúdo de Estereoquímica. Os professores participantes não terão seus nomes divulgados e serão identificados por números.

O questionário foi composto de treze perguntas, sendo seis de múltipla escolha e oito questões discursivas. As questões de múltipla escolha estavam relacionadas com o perfil dos professores, enquanto que as questões discursivas abordavam especificamente o ensino de Estereoquímica.

Os questionários foram respondidos pelos próprios participantes, uma vez que os entregávamos aos professores participantes e aguardávamos que eles os

respondessem, possibilitando-lhes tirarem dúvida, caso surgisse alguma.

O quadro 3 abaixo mostra a relação dos participantes, bem como algumas características coletadas através do questionário.

Quadro 3: Perfil dos professores participantes da pesquisa.

Professores	Sexo	Estado Civil	Faixa etária	Cor/Raça	Escola
P1	Feminino	Casada	24-29	Branca	Estadual
P2	Feminino	Casada	24-29	Branca	Federal
P3	Feminino	Casada	30-35	Branca	Estadual
P4	Masculino	Casado	36-41	Branco	Federal
P5	Masculino	Solteiro	30-35	Branco	Particular
P6	Masculino	Solteiro	30-35	Pardo	Estadual
P7	Feminino	Casada	60-65	Branca	Particular
P8	Masculino	Casado	36-41	Branco	Estadual
P9	Masculino	Casado	30-35	Branco	Estadual
P10	Feminino	Casada	36-41	Branca	Federal
P11	Feminino	Casada	30-35	Branca	Federal
P12	Masculino	Casado	30-35	Branco	Federal
P13	Feminino	Solteira	30-35	Branca	Particular
P14	Masculino	Casado	24-29	Branco	Estadual
P15	Feminino	Casada	30-35	Branca	Particular
P16	Feminino	Casada	30-35	Pardo	Federal
P17	Masculino	Solteiro	24-29	Pardo	Estadual
P18	Masculino	Solteiro	24-29	Pardo	Estadual

Analisando o quadro 3, podemos observar que a maioria dos professores questionados trabalham na rede pública de ensino, sendo oito professores na rede pública federal, seis na rede pública estadual e apenas quatro, na rede particular de ensino.

Também perguntamos sobre sua carreira docente e o tempo em que trabalha como professor. A figura 43 mostra os resultados encontrados.

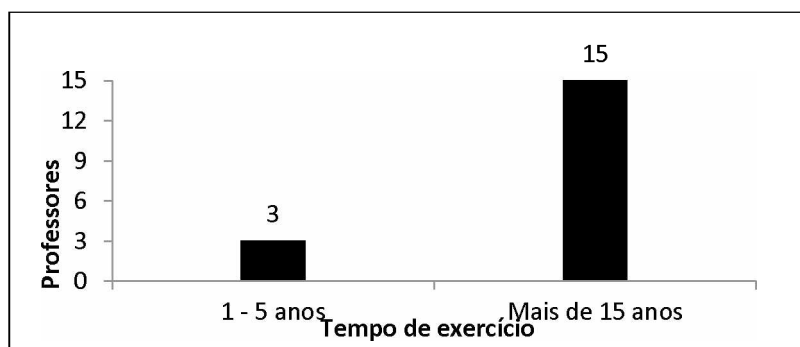


Figura 43: Gráfico sobre o tempo de exercício dos professores participantes.

Também perguntamos quanto tempo os mesmos lecionam a disciplina de Química Orgânica, especificamente o conteúdo de Estereoquímica. A figura 44 mostra os resultados encontrados.

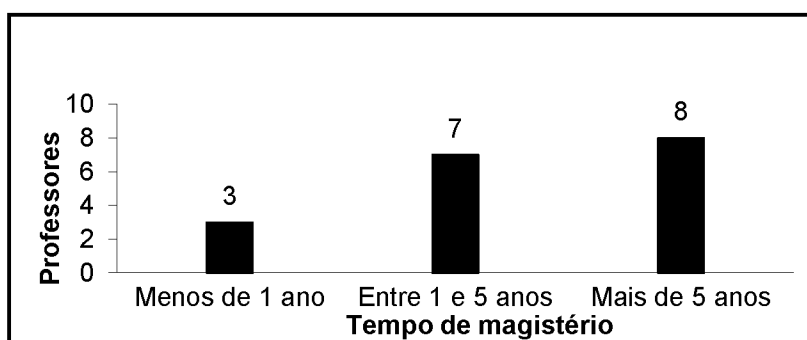


Figura 44: Tempo que os professores lecionam a disciplina de Química Orgânica

De acordo com Biase (2009), o tempo de docência influencia positivamente os alunos no processo de aprendizagem. Tal fato pode ser explicado em relação à experiência adquirida pelo docente, além do aprimoramento em utilizar métodos de ensino.

Quanto à formação, dos dezoito professores pesquisados, dezessete são formados em Licenciatura em Química, e um deles ainda está cursando o curso de Licenciatura em Química. Além disso, sete deles também são formados em Bacharel em Química e um, em Tecnologia de Alimentos.

Continuando ainda com a investigação sobre a formação dos professores, foi verificado se os mesmos possuíam alguma pós-graduação, concluída ou sendo cursada. A figura 45 mostra a titularidade dos professores.

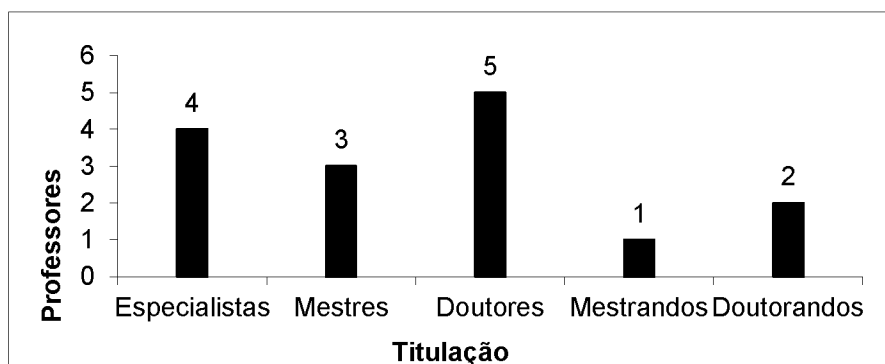


Figura 45: Titulação dos professores que participaram da pesquisa.

Analisando a figura 45, podemos notar que doze professores possuem pós-graduação concluída, enquanto outros três docentes ainda cursam. Essas pós-graduações são na área da Química.

Feito esse levantamento inicial, as outras perguntas do questionário estavam relacionadas especificamente ao ensino de Estereoquímica, cujo conteúdo é muito complexo para ser abordado no ensino médio, e requer uma dedicação, de tempo e atenção, maior que outros conteúdos. Vários autores também afirmaram essa questão em suas pesquisas (BARKE; ENGIDA, 2001; RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009; WU; SHAH, 2004; AL-BALUSHI, AL-HAJRI, 2014).

A primeira pergunta sobre o ensino de Estereoquímica que o questionário trouxe foi em relação às dificuldades que os professores encontravam durante aulas desse conteúdo. As respostas foram variadas, mas estavam de acordo com a literatura que se encontra no início deste trabalho.

A resposta mais encontrada foi sobre a questão da visualização, sendo esta citada por nove professores que responderam ao questionário. Essa dificuldade dos alunos em visualizar a estrutura molecular tridimensional impede que os mesmos consigam diferenciar os estereoisômeros, uma vez que as estruturas dos estereoisômeros se diferenciam apenas nos arranjos tridimensionais de seus grupos ligantes (RUIZ-CHICA et al., 1999). Consequentemente, isso dificulta a aprendizagem dos conteúdos de Estereoquímica.

Outro ponto indicado por cinco professores como fator que dificulta o ensino de Estereoquímica foi a baixa capacidade de abstração do aluno, o que impede a compreensão, como a extrapolação das representações e as alterações e mudanças