

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
PPGECIMA

KLEYFTON SOARES DA SILVA

**A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA COMO BASE DA APRENDIZAGEM DE
GEOMETRIA MOLECULAR: um estudo sobre atributos do funcionamento
cerebral relacionados à memória de longo prazo**

São Cristóvão

2018

KLEYFTON SOARES DA SILVA

**A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA COMO BASE DA APRENDIZAGEM DE
GEOMETRIA MOLECULAR: um estudo sobre atributos do funcionamento
cerebral relacionados à memória de longo prazo**

Texto apresentado à Banca Examinadora do PPGECIMA/UFS como requisito avaliativo para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, na linha de pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática.

Orientador: Dr. Laerte Silva da Fonseca

Coorientador: Dr. Jared Cooney Horvath
(Universidade de Melbourne, Austrália)

São Cristóvão

2018

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S586n Silva, Kleyfton Soares da
A neurociência cognitiva como base da aprendizagem de geometria molecular: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo / Kleyfton Soares da Silva ; orientador Laerte Silva da Fonseca. - São Cristóvão, 2018.
200 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Química (Ensino médio). 2. Moléculas. 3. Neurociência cognitiva. 4. Memória de longo prazo. I. Fonseca, Laerte Silva da orient. II. Título.

CDU 37.015:544.144.29

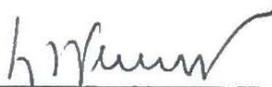
FOLHA DE APROVAÇÃO

KLEYFTON SOARES DA SILVA

A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA COMO BASE DA APRENDIZAGEM DE GEOMETRIA MOLECULAR: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo.

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 22 DE MARÇO DE 2018

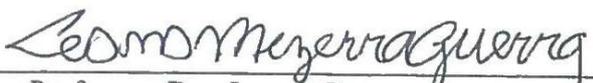
Banca Examinadora:



Professor Dr. Laerte Silva da Fonseca (Presidente/ Orientador)
Universidade Federal de Sergipe (UFSPGECIMA)
Instituto Federal de Sergipe (IFS)



Professora Dra. Divanizia do Nascimento Souza
Universidade Federal de Sergipe (UFS)



Professora Dra. Leonor Bezerra Guerra
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

The true art of memory is the art of attention.

Samuel Johnson

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter sempre me escutado e me levantado nos momentos mais difíceis. À minha família pela força e torcida pelo meu sucesso.

Ao Prof. Dr. Laerte Fonseca pela orientação exemplar, amizade e apoio durante as minhas escolhas profissionais e acadêmicas. Foram dois anos de debates, pesquisas, produções e compartilhamento de muitas conquistas.

Às professoras Dra. Divanizia do Nascimento Souza e Dra. Leonor Bezerra Guerra pelas ricas contribuições como membros da minha banca de qualificação e defesa. Sou muito grato pelo cuidado empregado na correção de cada parte do meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Jared Cooney Horvath, da Universidade de Melbourne (Austrália), pela coorientação e atenção nas situações de dúvidas. Foi através do seu trabalho no Centro de Ciências da Aprendizagem da Austrália que tomei conhecimento dos *PEN Principles* e pude desenhar uma pesquisa voltada para a aplicação de princípios de aprendizagem baseados na Neurociência Cognitiva.

Aos meus ex-professores do IFAL pelo incentivo à pesquisa desde a graduação – em especial, ao Prof. Dr. Johnnatan Duarte de Freitas pelas contribuições e parceria de sempre – e aos meus ex-professores do PPGEICIMA pelas experiências compartilhadas nas disciplinas cursadas no mestrado.

Ao Prof. Dr. Edson José Wartha pela orientação durante o estágio docência e pela prontidão para validar um teste de pesquisa, juntamente com a Prof^a. Samisia Maria Fernandes Machado, a quem também agradeço profundamente.

Aos meus amigos pelo companheirismo, conselhos nos momentos delicados e vibração nos momentos de felicidade. Cada um de vocês faz parte da minha história porque tivemos e continuamos tendo experiências emocionantes e significativas.

Aos meus alunos e ex-alunos pelos momentos inesquecíveis de aprendizagem, diversão e reflexão sobre a vida.

RESUMO

SILVA, K. S. **A neurociência cognitiva como base da aprendizagem de geometria molecular**: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo. 2018. 200p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

A compreensão da geometria molecular, no nível do Ensino Médio, tem sido dificultada devido à falta de investimento teórico e metodológico que leve à aplicação consciente dos recursos didáticos escolhidos. Esta pesquisa teve por objetivo investigar os efeitos de recursos pedagógicos, como modelos moleculares físicos alternativos e virtuais (Realidade Aumentada), na aprendizagem e desenvolvimento de habilidades visuoespaciais associadas às noções de Geometria Molecular. Conduziu-se a investigação do tipo experimental sob os pilares metodológicos da Engenharia Didática Clássica de Michèle Artigue (1998), que resultou na concepção, realização, avaliação e validação de uma Sequência Didática fundamentada na Neurociência Cognitiva, mais especificamente, nos processos educativos que sugerem melhor aquisição, consolidação e evocação da Memória de Longo Prazo (MLP). No âmbito das neurociências, buscou-se respaldo teórico em autores como Kandel (2014), Gazzaniga *et al.* (2006) e Izquierdo (2011) para estudar algumas características da memória e influências externas para a sua consolidação. No campo educacional, inspirou-se no trabalho de Cosenza e Guerra (2011) acerca dos fatores “emoção”, “atenção” e “memória” na aprendizagem escolar, bem como em princípios educativos baseados em evidências científicas dos campos da psicologia cognitiva, educação e neurociência cognitiva apresentados pelo *Science of Learning Research Centre* (Austrália). Nove alunos do Ensino Médio que já haviam estudado Geometria Molecular participaram de um conjunto de três atividades ao longo de um mês e foram avaliados qualitativamente quanto aos traços de memória relativos à aprendizagem anterior e posterior à intervenção didática. Os instrumentos para a coleta dos dados consistiram de diário de campo e testes. Os resultados mostraram que os recursos multissensoriais proporcionaram melhor engajamento e facilitaram o processo de consolidação e evocação de memórias episódicas associadas à aprendizagem de conceitos químicos dentro de um contexto significativo. A manipulação de modelos moleculares físicos contribuiu para a avaliação dos erros dos alunos, enquanto os modelos virtuais contribuíram para a percepção e correção dos erros.

Palavras-chave: Ensino de Química. Geometria Molecular. Neurociência Cognitiva e Estratégias Pedagógicas. Memória de Longo Prazo.

ABSTRACT

SILVA, K. S. **Cognitive neuroscience as a basis for learning molecular geometry**: a study on attributes of brain functioning related to long-term memory. 2018. 200p. Dissertation (Master's degree in Teaching Science and Mathematics) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

The understanding of molecular geometry at the level of High School has been hampered by the lack of theoretical and methodological investment that leads to the conscious application of the chosen didactic resources. The aim of this work was to investigate the effects of pedagogical resources, as physical and virtual molecular models, in the learning and development of visuospatial abilities associated to the notions of molecular geometry. The experimental research was conducted under the methodological pillars of Michèle Artigue's Classical Didactic Engineering (1989), which resulted in the conception, realization, observation and evaluation of a didactic sequence based on Cognitive Neuroscience, more specifically, in educational processes that suggest the efficient acquisition, consolidation and evocation of the Long-term Memory (LTM). In the neurosciences, theoretical support was sought from authors such as Kandel (2014), Gazzaniga et al. (2006) Izquierdo (2011) to study some characteristics of memory and external influences for its consolidation. In the educational field, the work of Cosenza and Guerra (2011) on emotion, attention and memory factors in school learning, as well as pedagogical principles based on scientific evidences from the fields of psychology, education and neuroscience presented by the Science of Learning Research Centre (Australia). Nine high school students who had already studied molecular geometry were submitted to a set of three activities over a period of one month and qualitatively assessed as to the memory traces related to the learning before and after the didactic intervention. The instruments for the data collection consisted of field diary and tests. The results showed that the multisensorial resources provided better engagement and contributed to the consolidation and evocation of episodic memories associated to the learning of chemical concepts within a meaningful context. The manipulation of physical molecular models contributed to the evaluation of students' errors, while the virtual models contributed to the perception and correction of errors.

Keywords: Teaching of Chemistry. Molecular Geometry. Cognitive Neuroscience and Pedagogical Strategies. Long Term Memory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estruturas moleculares de Couper (1858) para álcool e ácido oxálico	28
Figura 2 – Estruturas moleculares de alguns ácidos apresentadas por von Hofmann em 1865	29
Figura 3 – Modelo molecular do metano apresentado por von Hofmann em 1865	30
Figura 4 – Representações para o benzeno	33
Figura 5 – Modelos físicos de moléculas tetraédricas criados por van't Hoff	34
Figura 6 – Modelo molecular com ligações tensionadas para obedecer à orientação tetraédrica do carbono	34
Figura 7 – Configurações espaciais com a nomenclatura antiga	38
Figura 8 – Esquema básico de um neurônio	51
Figura 9 – Esquema da transmissão de um impulso nervoso (estímulo) através de uma sinapse química	54
Figura 10 – Anatomia básica do olho	55
Figura 11 – Simplificação da via óptica	56
Figura 12 – Córtex temporal anterior como polo de convergência (hub), das informações relativas a uma cena ou evento de memória, que seriam aí reunidas para a sua apresentação à consciência (evocação)	65
Figura 13 – Mapa mental sobre atenção	69
Figura 14 – Iceberg da química orgânica	73
Figura 15 – Evidências científicas que justificam o princípio #4	75
Figura 16 – Evidências científicas que justificam o princípio #8	76
Figura 17 – Evidências científicas que justificam o princípio #9	76
Figura 18 – Evidências científicas que justificam o princípio #10	77
Figura 19 – Evidências científicas que justificam o princípio #11	78
Figura 20 – Estímulos tridimensionais para rotação mental	79
Figura 21 – Estímulos bidimensionais para rotação mental	79
Figura 22 – Estímulos utilizados no treinamento de rotação mental	80
Figura 23 – Estímulos do tipo moléculas e blocos	80
Figura 24 – Regiões cerebrais ativadas durante a rotação mental de objetos ...	81
Figura 25 – Evidências científicas que justificam o princípio “Treine rotação mental para aprimorar as habilidades espaciais”	81

Figura 26 – Representação de moléculas para rotação mental. Elas são idênticas ou enantiômeros?	82
Figura 27 – Molécula construída por um grupo de 5 alunos	91
Figura 28 – Distribuição da média dos alunos em relação à média da turma	92
Figura 29 – Notas dos 9 alunos obtidas no pré-teste (TE1)	111
Figura 30 – Frequência de acertos. As questões Q referem-se às de múltipla escolha, enquanto que as questões QA referem-se às abertas	111
Figura 31 – Excertos 1 e 2 da questão Q1A dos alunos A6 e A7	112
Figura 32 – Excertos 3 e 4 da questão Q1A dos alunos A3 e A9	112
Figura 33 – Excertos 5 e 6 da questão Q2A, alunos A6 e A7	113
Figura 34 – Excerto 7 da questão Q2A, aluno A9	113
Figura 35 – Excerto 8 da questão Q3A, aluno A6	114
Figura 36 – Excertos 9 e 10 da questão Q3A, alunos A5 e A9	114
Figura 37 – Quantidade de acertos por aluno no TE2	115
Figura 38 – Configuração da sala de aula para a sessão I	115
Figura 39 – Alunos em experiência olfativa	116
Figura 40 – Alunos executando a tarefa 3 da primeira sessão	117
Figura 41 – Representação da molécula da cafeína em 3D construída pelo G1	118
Figura 42 – Representação da molécula da <i>Cinnamomum</i> (canela) em 3D construída pelo G2	118
Figura 43 – Representação da molécula do Eugenol (cravo da índia) em 3D construída pelo G3	119
Figura 44 – Representação da molécula do ácido ascórbico (vitamina C) em 3D construída pelo G4	119
Figura 45 – Alunos comparando a molécula física com a virtual em RA	121
Figura 46 – Representação da molécula da cafeína em 3D corrigida pelo G1 ...	122
Figura 47 – Representação da molécula da canela em 3D corrigida pelo G2	122
Figura 48 – Representação da molécula do cravo em 3D corrigida pelo G3	123
Figura 49 – Representação da molécula de vitamina C em 3D corrigida pelo G4	123
Figura 50 – Excerto 11 do aluno A8 mostrando erros comuns (exemplos riscados) para as estruturas de Lewis das moléculas NH ₃ e CO ₂	124
Figura 51 – Após imaginar a molécula o aluno verifica a estrutura tridimensional em RA	125

Figura 52 – Excerto 12 do aluno A5 mostrando o tipo de resposta mais comum para a tarefa 5	126
Figura 53 – Excerto 13 do aluno A6 mostrando o tipo de resposta mais comum para a tarefa 6	126
Figura 54 – Excerto 14 do aluno A7 sobre satisfação individual	127
Figura 55 – Excerto 15 do aluno A1 sobre satisfação individual	128
Figura 56 – Notas dos 9 alunos obtidas no pós-teste (TE1)	129
Figura 57 – Frequência de acertos no pós-teste (TE1). As questões Q referem-se às de múltipla escolha, enquanto que as questões QA referem-se às abertas	129
Figura 58 – Nota do pós-teste TE2	130
Figura 59 – Relação entre o desempenho no teste de geometria molecular e teste de rotação mental	137
Figura 60 – Comparação de desempenho do pré-teste e pós-teste	138
Figura 61 – Comparação da frequência de acertos no pré-teste e pós-teste do TE1	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais obstáculos identificados para o desenvolvimento do conceito de GM	40
Quadro 2 – Considerações sobre a organização didática do conteúdo GM nos últimos 5 anos	47
Quadro 3 – Classificação das memórias	60
Quadro 4 – Marcadores macrodidáticos que consideram estratégias pedagógicas baseadas nos conhecimentos dos fenômenos da atenção, emoção e memória e suas relações com a aprendizagem escolar	71
Quadro 5 – Visão geral dos processos envolvidos na aprendizagem com múltiplas representações visuais e competências resultantes	73
Quadro 6 – Marcadores macrodidáticos relativos aos princípios que integram os campos da psicologia cognitiva, educação e neurociência cognitiva	82
Quadro 7 – Resumo das aulas sobre geometria molecular observadas nos meses de agosto, setembro e outubro de 2016	89
Quadro 8 – Sequência Didática da sessão I	95
Quadro 9 – Atividade de rotação mental para ser feita em casa	98
Quadro 10 – Organização das imagens-alvo para a molécula ácido ascórbico ..	100
Quadro 11 – Sequência Didática da sessão II	102
Quadro 12 – Atividade de rotação mental para ser feita em casa dois dias após a sessão II	103
Quadro 13 – Sequência Didática da sessão III	105
Quadro 14 – Integração dos resultados da análise preliminar e fundamentação teórica que nortearam as escolhas didáticas	108
Quadro 15 – Divisão dos grupos	117
Quadro 16 – Confronto entre as análises <i>a priori</i> e <i>a posteriori</i>	141
Quadro 17 – Confronto entre as análises <i>a priori</i> e <i>a posteriori</i>	143
Quadro 18 – Confronto entre as análises <i>a priori</i> e <i>a posteriori</i>	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
AMPA	alfa-amino-3-hidroxi-metil-5-4-isoxazolpropiónico
ARM	Atividade de Rotação Mental
C	Consideração (refere-se aos marcadores do Quadro 2)
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
EAM	Emoção, Atenção, Memória (refere-se aos marcadores do Quadro 4)
EDC	Engenharia Didática Clássica
EM	Ensino Médio
GM	Geometria Molecular
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
MLP	Memória de Longo Prazo
NC	Neurociência Cognitiva
NMDA	N-metil D-Aspartato
OB	Obstáculo (refere-se aos marcadores do Quadro 1)
P	Princípio (refere-se aos marcadores do Quadro 6)
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
PEN	<i>Psychology, Education, Neuroscience</i>
PNLD	Plano Nacional do Livro Didático
QR	Quadro de Referência
RA	Realidade Aumentada
RAT	Roteiro de Atividades
SD	Sequência Didática
SNC	Sistema Nervoso Central
TE	Teste
TSD	Teoria das Situações Didáticas
VSEPR	<i>Valence Shell Electron Pair Repulsion Theory</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
	ANÁLISE PRELIMINAR	20
2	INVESTIGANDO AS CARACTERÍSTICAS DO SABER EM JOGO	21
2.1	Considerações teóricas para a análise epistemológica	21
2.2	Desenvolvimento histórico e epistemológico do conceito “Geometria Molecular”	24
2.3	Levantamento teórico sobre o ensino habitual	40
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	49
3.1	Neurociência Cognitiva e Educação: a aprendizagem em termos neurocientíficos	49
	Um exemplo de como o cérebro traduz as informações captadas pelos órgãos sensoriais e as transformam em aprendizagem	
3.1.1	A memória	54
3.1.2	A memória	58
	3.1.2.1 Uma breve abordagem dos mecanismos da formação da memória	59
3.1.3	O papel da atenção na formação da MLP	66
	A conexão entre Psicologia Cognitiva, Educação e Neurociência Cognitiva: implicações para o ensino e aprendizagem de geometria molecular	72
3.2	Cognitiva: implicações para o ensino e aprendizagem de geometria molecular	72
	3.2.1 A rotação mental e a relação com o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais	78
4	HIPÓTESES	83
	CONCEPÇÃO E ANÁLISE A <i>PRIORI</i>	84
5	DESENHO METODOLÓGICO	85
5.1	A análise preliminar	87
	5.1.1 O campo de investigação e público alvo	88
	5.1.2 Contexto inicial e perfil acadêmico dos alunos	89
5.2	Concepção e análise a <i>priori</i>	93
	5.2.1 Análise a <i>priori</i> do primeiro momento (sessão I)	94
	5.2.2 Análise a <i>priori</i> do segundo momento (sessão II)	99
	5.2.3 Análise a <i>priori</i> do terceiro momento (sessão III)	104
	5.2.4 Considerações finais sobre a análise a <i>priori</i>	107
	EXPERIMENTAÇÃO	109

6 EXPERIMENTAÇÃO	110
6.1 Sessão I	110
6.2 Sessão II	120
6.3 Sessão III	127
ANÁLISE A POSTERIORI E VALIDAÇÃO	131
7 ANÁLISE A POSTERIORI	132
8 VALIDAÇÃO	141
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
REFERÊNCIAS, APÊNDICES E ANEXOS	151
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
APÊNDICE A - Termo de consentimento livre e esclarecido (menores de 18 anos)	159
APÊNDICE B – Termo de anuência para realização de pesquisa	162
APÊNDICE C – Validação de Teste de Pesquisa (TE1)	163
APÊNDICE D – Teste de rotação mental (TE2)	170
APÊNDICE E – Teste de avaliação da primeira atividade (TE3)	174
APÊNDICE F – Fatos históricos relacionados às moléculas estudadas	175
APÊNDICE G – Fórmulas condensadas das moléculas estudadas	176
APÊNDICE H – Atividade Rotação Mental 1, 2 e 3	177
APÊNDICE I – Roteiros de Atividades 1 e 2	181
APÊNDICE J – Imagens-alvo (1, 2, 3 e 4) para a aplicação da Realidade Aumentada	185
ANEXO A – <i>PEN Principles</i>	190
ANEXO B – Tabela Periódica	200

1 INTRODUÇÃO

O objetivo principal desta pesquisa foi investigar os efeitos de recursos pedagógicos, como modelos moleculares físicos alternativos e virtuais (Realidade Aumentada), na aprendizagem e desenvolvimento de habilidades visuoespaciais associadas às noções de geometria molecular. Complementarmente, verificou-se como algumas escolhas didáticas baseadas em princípios neuroeducativos¹ podem contribuir para a aquisição, formação e evocação da Memória de Longo Prazo.

Com efeito, discussões acerca de técnicas e métodos adequados para o ensino de ciências têm desvelado a potencialidade do uso de recursos tecnológicos como mediadores da aprendizagem de conhecimentos científicos. Na química, por exemplo, a representação dinâmica de átomos e moléculas para entendermos os fenômenos macroscópicos é significativamente alcançada por meio de simuladores virtuais disponíveis gratuitamente na internet. Mas embora o impacto gerado pela aplicação de ferramentas tecnológicas em sala de aula seja majoritariamente tomado como positivo, há questionamentos quanto à validade de abordagens metodológicas adotadas nos casos em que se pretende construir concepções científicas.

É consensual que os campos da Ciência, Tecnologia, Engenharia, Matemática exigem do aluno competências representacionais necessárias para o acesso a conceitos abstratos. Dentro do domínio abrangente da química, lidar coerentemente com a noção de “geometria molecular”, por exemplo, requisita a elaboração cognitiva conceitual mediada verbalmente, além de habilidades visuoespaciais, que nesse caso são responsáveis pela percepção e manipulação mental de objetos bidimensionais e tridimensionais no espaço (WRIGHT *et al.* 2008).

Segundo Martina (2017), o papel cognitivo que as representações visuais desempenham permite que estudantes adquiram conceitos de domínios relevantes de forma mais acessível. Além disso, diferentes representações enfatizam aspectos conceituais complementares. Sustentando-se nas ciências cognitivas, Martina (2017) defende a aprendizagem de conceitos científicos a partir de representações

¹ Os termos princípios educativos, de aprendizagem ou neuroeducativos citados ao longo desta pesquisa referem-se ao resultado de evidências científicas de campos do conhecimento, como psicologia, educação e neurociência que justifica a aprendizagem escolar sob várias condições. Segundo Horvath *et al.* (2017), o campo do conhecimento denominado Ciências da Aprendizagem foi criado justamente para correlacionar achados de laboratório com práticas de sala de aula, tendo como resultado o surgimento de princípios educativos.

visuais como sendo o resultado da aquisição de competências representacionais, que por sua vez se originam de um treinamento que vai do entendimento visual à fluência visual.

Acerca de tais representações, após a concepção de átomo e das ligações interatômicas, a organização espacial das moléculas se configura como um tópico crucial para a construção de conhecimentos fundados na natureza abstrata da química, sendo necessário o uso de representações visuais para sistematizar os diferentes conceitos envolvidos. Talvez pela utilização dispensável de estruturas tridimensionais para lidar com problemas químicos anteriores a aprendizagem de química orgânica², o aluno passa por um período considerável sem praticar as relações existentes entre as múltiplas representações das moléculas, resultando nas dificuldades relatadas por inúmeras pesquisas.

Um fato interessante é que produtores de animações parecem querer suprir a carência dos livros didáticos, no sentido de apelar para as representações tridimensionais na tentativa de tornar visível o invisível. Como professor de química do Ensino Médio (EM), tenho me deparado constantemente com dificuldades de alunos que não compreendem o real significado das representações bidimensionais e tridimensionais em química, o que me levou a querer investigar os processos iniciais de aprendizagem de moléculas enquanto objetos inseridos num espaço tridimensional. As primeiras consultas direcionaram o foco para o conteúdo Geometria Molecular (GM) – geralmente programado nos currículos para ser ensinado no 1º ano do EM – por esse ser responsável pelo primeiro contato dos estudantes com a noção formalizada da disposição espacial das moléculas.

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objeto de estudo a aprendizagem de geometria molecular. Tal recorte está atrelado à necessidade do pesquisador em colocar o problema da aprendizagem em termos de metodologia de ensino, o que proporcionará uma investigação qualitativa mais direcionada com vistas à resolução de duas questões norteadoras:

- Que alternativa metodológica pode permitir a aprendizagem de noções de geometria molecular a partir de recursos de visualização de moléculas tridimensionais?

² Na rede pública de ensino, a noção de geometria molecular é comumente estudada no 1º ano do Ensino Médio (EM), porém só é reforçada nos estudos de química orgânica, que geralmente são conduzidos no 3º ano do EM.

- Quais são os efeitos das escolhas didáticas sobre a aquisição, consolidação e evocação da Memória de Longo Prazo?

Para tentar responder as referidas questões, buscou-se respostas nos campos da psicologia cognitiva, educação e neurociência cognitiva, principalmente. Embora o fenômeno da aprendizagem possa ser efetivamente abordado na fronteira da psicologia cognitiva e educação – como o trabalho de Pereira (2014), que investigou os efeitos de atividades de ensino de física por investigação na memória de longo prazo de estudantes do EM –, alguns princípios do processamento cerebral da informação alicerçados nos estudos neurocientíficos foram priorizados, pois é também intenção desta pesquisa difundir os conhecimentos da neurociência para inspirar educadores a apreciar essa área como uma alternativa teórica com efetiva aplicação na sala de aula³.

Mas, o que de fato é armazenado na memória depois de uma situação de aprendizagem? Para responder a essa pergunta e as questões norteadoras, optou-se por abordar o conceito de aprendizagem e memória na perspectiva da Neurociência Cognitiva.

Pesquisas no campo da psicologia cognitiva e neurociências⁴ têm elucidado algumas questões sobre o processo de aquisição, consolidação e evocação da memória. Enquanto neurocientistas investigam a natureza biológica da formação de memórias, psicólogos cognitivos se preocupam com os processos mentais, tais como, percepção, atenção, memória, cognição e aprendizagem.

Na educação, as pesquisas estão imersas num campo complexo, cujas variáveis internas e externas ao aluno são dificilmente controladas. Cada vez mais, o trabalho interdisciplinar entre neurociência cognitiva, psicologia cognitiva e educação tem subsidiado pesquisas de sala de aula, esclarecendo alternativas teóricas para lidar com os fenômenos de aprendizagem (HORVATH *et al.*, 2017).

³ O primeiro contato do autor deste trabalho com o campo da neurociência e educação surgiu no início do mestrado e, desde então, o foco foi direcionado às investigações dos processos neurocognitivos envolvidos na aprendizagem escolar. Como resultado, algumas discussões da fundamentação teórica são frutos de trabalhos apresentados e publicados no período do mestrado. Adicionalmente, essa pesquisa tem influências do trabalho de Fonseca (2015a, 2015b) quanto à articulação dos quadros teóricos da didática da matemática e da neurociência cognitiva para o estudo de fenômenos de aprendizagem.

⁴ Segundo Fonseca (2015b, p. 172), “a área das Neurociências configura-se como um campo histórico-multi-interdisciplinar e que, por esse motivo, os limites entre seus ramos não são nítidos, sendo o constante diálogo entre eles a própria fonte de sobrevivência”. Entretanto, nesta pesquisa enfocou-se restritamente nos pressupostos de aprendizagem alicerçados na neurociência cognitiva.

A memória é comumente dividida em dois grandes grupos: a de curto prazo, responsável pela manutenção de eventos recentes; e a de longo prazo, onde ocorre o armazenamento de registros duradouros e/ou permanentes (COSENZA & GUERRA, 2011). Existem outras classificações que descrevem os vários tipos de memória, mas para efeito desta investigação, um destaque será dado a dois tipos de memória de longa duração: episódica e semântica, considerando que a avaliação dessas memórias é possível através da expressão escrita e falada dos alunos.

De fato, diz-se que o aluno aprendeu um dado conceito quando ele consegue expor com detalhes as características que cercam o objeto de estudo. Nesse sentido, a avaliação da memória se dá através da sua evocação (IZQUIERDO, 2011).

Quanto aos procedimentos metodológicos, encaminhou-se a investigação sob os princípios da Engenharia Didática Clássica⁵ (EDC) da francesa Michèle Artigue (1998), que consiste no gerenciamento de elementos metodológicos para o planejamento (análise preliminar), elaboração (análises a *priori*), experimentação, análise e validação (análises a *posteriori*) de uma Sequência Didática (SD) fundamentada em um quadro teórico específico.

A primeira seção destina-se a abordagem da análise preliminar relativa ao conteúdo de GM, em que é feito um levantamento histórico e epistemológico com o objetivo de identificar obstáculos que podem estar eventualmente ligados às dificuldades conceituais recorrentes dos estudantes. Além disso, apresenta-se uma revisão da literatura acerca do ensino e aprendizagem do conteúdo em jogo, de onde surgem as primeiras alternativas globais, as chamadas variáveis macrodidáticas⁶.

⁵ Resumidamente, a EDC serve como um guia na determinação de técnicas, métodos e recursos de ensino reprodutíveis. No âmbito desta pesquisa, a EDC tem um caráter investigativo, onde “procura-se fazer emergir fenômenos didáticos e estudá-los, com a intenção de um avanço nos resultados da investigação, por meio de experimentações montadas em função da questão de pesquisa, sem preocupação imediata de uma eventual divulgação mais ampla das situações utilizadas (ALMOULOU & SILVA, 2012). Outra característica importante é o processo de validação interna, em que não é necessário lançar mão de grupos de controle para perpetuar a confiabilidade dos dados. A EDC é parecida com a metodologia “*Design-Based Research (DBR)*”, sendo que uma das principais diferenças está nas assunções teóricas. Enquanto a EDC se fundamenta na Teoria das Situações Didáticas (TSD) e se destina a testar as hipóteses geradas por essa teoria, a DBR não se apoia em um quadro teórico específico (GODINO *et al.*, 2013). Na presente investigação, optou-se pela EDC pela possibilidade de articulação entre elementos da TSD e um quadro teórico organizado de forma independente (características da DBR), assim como fez Fonseca (2015b).

⁶ As variáveis macrodidáticas referem-se à organização global da pesquisa (ARTIGUE, 1998), como escolhas gerais que podem estar associadas ao conteúdo, recursos e condições do ambiente

A segunda seção trata da fundamentação teórica que sustenta a elaboração das etapas da SD. Para isso, foram consideradas abordagens teóricas em torno da concepção de memória e os fatores internos (emoção e atenção) e externos (ferramentas pedagógicas) que exercem influência sobre a aprendizagem. Um conjunto de princípios de aprendizagem é apresentado para subsidiar a escolha das variáveis microdidáticas.

A terceira seção aborda os aspectos metodológicos da investigação, onde são apresentadas as análises a *priori* da SD com fins de pesquisa. A descrição das fases da EDC é feita no início de cada subitem relacionado. Dada a necessidade teórica para o planejamento das etapas da SD, recorreu-se à Teoria das Situações Didáticas (TSD), conforme destacado na metodologia. A quarta e última seção traz os resultados da intervenção didática.



ANÁLISE PRELIMINAR

- Levantamento histórico da noção da Geometria Molecular
- O ensino habitual
- A organização do conteúdo em livros didáticos
- Fundamentação teórica
- Hipóteses

2 INVESTIGANDO AS CARACTERÍSTICAS DO SABER EM JOGO

A organização do conhecimento em torno das noções de geometria molecular passou por diversas reformulações até findar nos modelos apresentados pelos livros didáticos atuais. A evolução desse conhecimento dependeu, principalmente, do desenvolvimento de técnicas de investigação que resultassem em evidências empíricas acerca da estrutura da matéria, mais especificamente, em esclarecimentos das concepções de ligação química e arranjo espacial dos átomos e moléculas (estereoquímica).

Entender as características do saber em questão através da história – análise epistemológica – e de pesquisas recentes da área – levantamento sobre o ensino habitual – é o principal objetivo desta seção, que busca trazer à tona as principais discussões, limitações, dificuldades e avanços associados à concepção de GM. Segundo Almouloud (2007), a análise epistemológica auxilia o pesquisador a entender melhor as relações entre os objetos de estudo e “controlar as variáveis didáticas relacionadas com o processo de ensino e aprendizagem de tais objetos” (ALMOULOU, 2007, p. 156).

2.1 Considerações teóricas para a análise epistemológica

A análise do contexto histórico nesta pesquisa limita-se à realização de alguns procedimentos metodológicos apresentados por Brousseau (1983), cujo objetivo é a identificação de obstáculos epistemológicos que podem eventualmente estar relacionados com dificuldades conceituais recorrentes de um dado conteúdo. O autor enfatiza que a identificação e caracterização de obstáculos são essenciais para a análise e construção de situações didáticas.

A noção de obstáculo epistemológico foi primeiramente discutida pelo francês Gaston Bachelard, caracterizando-o como a causa da estagnação do conhecimento científico. Em defesa do desenvolvimento de um espírito científico, Bachelard (1996, p. 17) enfatiza que “o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização”.

No viés apresentado, os obstáculos epistemológicos limitam a evolução do conhecimento científico abstrato. Ao escrever acerca dos tipos de obstáculos –

experiência primeira; conhecimento geral; obstáculo verbal; conhecimento unitário e pragmático; obstáculo substancialista; obstáculo animista; obstáculo do conhecimento quantitativo – Bachelard (1996) destaca experiências relacionadas com a evolução científica e acadêmica que denunciam a correspondência dessas experiências com os obstáculos apresentados.

Para efeito demonstrativo, um aluno do 9º ano do ensino fundamental, ao iniciar os estudos da estrutura atômica, traz consigo concepções alternativas sobre a estrutura da matéria que podem dificultar a internalização de novos conceitos, já que sua memória sensorial o faz pensar, por exemplo, que uma barra de ferro é constituída de matéria contínua, não havendo espaços vazios entre os átomos e no próprio átomo. Nesse caso, conduzir o aluno à aceitação de que a matéria é descontínua, por mais compacta que esteja, é fazê-lo superar o obstáculo inerente à sua experiência primeira.

As ideias de Bachelard em torno das noções de obstáculos epistemológicos nortearam os estudos de Guy Brousseau sobre os obstáculos didáticos, levando-o a colocar os problemas de ensino e aprendizagem de conteúdos matemáticos em termos de questões históricas e epistemológicas do conhecimento. Ademais, os pressupostos teóricos de Piaget (1975) sobre o equilíbrio cognitivo e o papel do erro no processo de superação de um momento de desequilíbrio foram primordiais, junto com a noção de obstáculo epistemológico, para o desenvolvimento das pesquisas em didática da matemática.

Diante do exposto, Almouloud enfatiza que

[...] os conhecimentos saem de um estado de equilíbrio e passam por fases transitórias, nas quais os conhecimentos anteriores não funcionam bem. A superação desse momento de desequilíbrio, para um novo estágio de equilibração, significa que houve uma reorganização dos conhecimentos em que as novas aquisições foram integradas ao saber antigo. (ALMOULOU, 2007, p. 129).

Com efeito, a produção de materiais didáticos e estratégias pedagógicas visando à aprendizagem efetiva pode ser pensada a partir da análise dos erros dos alunos (ALMOULOU, 2007). Os erros podem ser, portanto, importantes elementos de análise por trazer incoerências decorrentes da aprendizagem anterior, não sendo necessária a tentativa desesperadora de eliminação do erro sem antes considerar os

fatores de ordem psicológica, didática e epistemológica envolvidos no processo de aquisição dos conhecimentos.

Brousseau (1983) ressalta que o erro considerado obstáculo não é aquele que é somente o efeito da ignorância, mas também de um conhecimento anterior que teve sua importância em um dado tempo e espaço, mas que agora pode ser inapto para o que se pretende alcançar. Para o autor, os obstáculos de origem epistemológica são, portanto, caracterizados como aqueles que “não se pode e nem se deve fugir pelo papel constitutivo que eles representam no conhecimento visado” (BROUSSEAU, 1983, p. 108).

Desse modo, um estudo dos obstáculos a partir de uma análise histórica é possível graças às evidências científicas construídas ao longo do tempo e institucionalizadas como conhecimentos relevantes para cada época.

Segundo Brousseau (1983), levando em consideração as discussões de Bachelard e Piaget, os obstáculos em didática podem ser: identificados na história; traçados a partir das dificuldades dos alunos; estudados visando à superação no contexto de sala de aula.

Tomando como inspiração as orientações de Brousseau (1989, 1998) para o estudo dos obstáculos a partir da história, buscou-se:

- a) descrever o conhecimento em torno da noção de geometria molecular e entender o seu uso;
- b) explicar quais vantagens ele trouxe em relação às utilizações anteriores, a quais práticas sociais e técnicas está associado, e se possível a quais concepções do campo da química;
- c) identificar essas concepções em relação a outras possíveis, especialmente aquelas que as sucederam, a fim de compreender as limitações, dificuldades e, finalmente, as causas do fracasso dessas concepções, mas ao mesmo tempo as razões de um equilíbrio que parece ter durado o tempo suficiente.
- d) identificar o momento e as razões para a quebra desse equilíbrio e, em seguida, considerar vestígios de resistência à rejeição por explicar possíveis sobrevivências de práticas ou concepções.
- e) procurar possíveis ressurgências, retornos inesperados, senão em sua forma inicial, pelo menos em formas similares e verificar o motivo. (BROUSSEAU, 1989, p. 45, adaptação e tradução minha).

Por fim, é importante frisar que discorrer acerca da história da química e, em especial, da evolução de um conteúdo específico, não é uma tarefa fácil. Por diversos motivos, nem sempre o reconhecimento popular de um determinado

achado científico é atribuído a todos os estudiosos que se debruçaram sobre o problema.

Além disso, buscar a origem e evolução de determinado conhecimento é se deparar com várias interpretações possíveis dentro de um dado contexto político, social e histórico. Para minimizar tal risco, fontes primárias e secundárias foram priorizadas para transpor em ordem cronológica os principais eventos históricos e seus protagonistas.

2.2 Desenvolvimento histórico e epistemológico do conceito “Geometria Molecular”

O advento da química moderna é atribuído às descobertas de cunho experimental feitas por cientistas nas últimas décadas do século XVIII. Principalmente, pelo francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), considerado o pai da química moderna por seus trabalhos experimentais e explicações contundentes relativas ao oxigênio, além da refutação da hipótese dos quatro elementos (terra, fogo, ar e água) e da teoria do flogisto, ainda difundida à época.

A história da química está imersa num mar de contradições. A evolução dos conhecimentos conta com uma mistura de ciência e misticismo, onde de um lado buscou-se compreender os fenômenos químicos com base numa organização sistemática, fundados em leis e procedimentos reprodutíveis e, do outro, disseminar ideias isentas de fundamentos científicos.

Com efeito, os alquimistas – praticantes de rituais místicos envolvendo ciência e magia – contribuíram para o desenvolvimento da química enquanto ciência, mas ao mesmo tempo estagnaram a evolução do conhecimento devido às constantes rejeições de novas ideias em detrimento de outras anteriores, quase nunca pautadas em evidências científicas. Na primeira metade do século XVII, o médico e alquimista belga Jan Baptista van Helmont (1579-1644), por exemplo, ampliou os conhecimentos sobre os três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso) e generalizou que os gases são quimicamente inertes. “A hipótese de van Helmont limitaria, necessariamente, o domínio da Química aos fenômenos observados apenas nos estados sólidos e líquidos” (FILHO, 1984, p. 94).

O irlandês e químico cético Robert Boyle (1627-1691), em alusão à sua obra publicada em 1661, foi influenciado pelas concepções errôneas de que todo gás é inerte e procurou explicar a calcinação dos metais (oxidação) por meio da teoria corpuscular da matéria.

Considerava-se que o fogo é responsável pelo aumento da massa dos metais submetidos ao aquecimento, porque de alguma forma os corpúsculos agitados do fogo se incorporam ao metal sob chamas. Conforme relatado em Filho (1984), o próprio van Helmont realizou um experimento com duração de cinco anos em que investigou o crescimento de uma planta, realizando aferições constantes de massa da terra e água adicionadas, além da massa final obtida. Longe de considerar as interações gasosas no processo de crescimento da planta para explicar a alteração desprezível da massa da terra, o alquimista atribuiu à água o fenômeno de transmutação, afirmando que esta se transformava em matéria orgânica.

A situação acima é apenas um cenário que exemplifica algumas características históricas da química. O obstáculo causado pela generalização da concepção do gás inerte também é uma demonstração da resistência à rejeição de conhecimentos pré-estabelecidos. Levaram-se anos para a superação desse obstáculo.

Somente em 1756, o físico e químico escocês Joseph Black (1728-1799) publicou um estudo comprovando a relação química do ar atmosférico com a oxidação dos metais. De fato, “as interpretações de fenômenos químicos semelhantes em que o ar ou gases participavam eram, conseqüentemente, errôneas, em nada contribuindo para o desenvolvimento da química” (FILHO, 1984, p. 95).

A partir de então, a modernização da ciência química começa a tomar forma e teorias aristotélicas como a dos quatro elementos foram deixadas de lado, principalmente com a disseminação dos estudos de Lavoisier.

Os trabalhos dos cientistas do século XVIII foram primordiais para a transição da ciência química de um período obscuro, em termos de emprego de métodos científicos, para um cenário fértil, de onde grandes descobertas foram viabilizadas graças à necessidade de explicações e aplicações do conhecimento químico.

A busca pela compreensão minuciosa dos fenômenos macroscópicos levou os químicos e físicos a investigarem vigorosamente a natureza microscópica das substâncias e suas interações. A melhor compreensão dos mecanismos de reações químicas e das propriedades dos materiais não seria possível sem a investigação da estrutura molecular e atômica. Conforme ressalta Brown (1959), hoje os construtos teóricos em torno do entendimento de átomos e moléculas são tão valiosos que a interpretação do comportamento das mais variadas moléculas orgânicas se dá em termos de suas estruturas, ou seja, de suas constituições moleculares e configurações.

Chegar à concepção atual da GM foi um desafio que perdurou até 1957, quando o químico britânico Ronald Gillespie e o químico australiano Ronald Sydney Nyholm apresentaram uma refinação da relação entre a disposição espacial de moléculas e o número de elétrons de valência no átomo central. Essa concepção teórica foi proposta em 1939 pelo japonês Ryutarō Tsuchida e divulgada pelos ingleses Nevil Sidgwick e Herbert Powell, em 1940, tendo como base os estudos de ligações covalentes de Lewis (SIDGWICK & POWELL, 1940).

Interessantemente, a concepção de GM e, em especial, da disposição tetraédrica do carbono já havia sido marcada pelo químico holandês Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) e francês Joseph Le Bel (1847-1930), em 1874, quando propuseram que o arranjo espacial do carbono não é planar, mas mantém os grupos ligados ao átomo central direcionados para os quatro vértices de um tetraedro (DRAYER, 2001).

Tal assunção teve como ponto de partida a noção de carbono tetravalente, como sugerido pelo químico alemão Friedrich August Kekulé (1857–58), que primeiramente postulou uma teoria da estrutura molecular para explicar como os átomos de carbono se ligam entre si para formar longas cadeias em compostos orgânicos.

O conhecimento de GM se sustentou, inicialmente, no entendimento do átomo como entidade elementar da matéria e seu poder de combinação fixa (Teoria de Valência), seguido pelos estudos de atividade óptica em enantiômeros (moléculas que são imagens no espelho uma da outra e não são sobreponíveis); pelo aprofundamento da teoria de ligação de valência encabeçada por Lewis; pelos resultados experimentais de cristalografia de raios X a partir do início do século XX.

Após a enunciação da teoria atômica do inglês John Dalton, em 1808, iniciou-se uma busca intensiva pela elucidação de fenômenos químicos no nível microscópico. Porém, o embate entre pesquisadores de abordagens teóricas opostas culminou em um período de confusão na organização do conhecimento químico. No campo dos compostos orgânicos, por exemplo, os cinquenta anos anteriores à fundação da Teoria Estrutural em 1858 foi considerado o “período escuro da química orgânica” (BROWN, 1959).

Com efeito, conforme ressaltam Meyer e McGowan (1906), para que a química orgânica pudesse ter uma posição de desenvolvimento própria duas condições tiveram que ser satisfeitas: a determinação empírica da composição de substâncias orgânicas – que deixou rapidamente de ser um problema em decorrência do avanço de análises quantitativas – e a prova de que os compostos orgânicos seguiam as mesmas leis atômicas dos inorgânicos.

O químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) difundiu a ideia de que os radicais orgânicos eram como entidades elementares intocáveis, assim como o átomo é em compostos inorgânicos. Influenciado pelos estudos eletroquímicos do britânico Humphry Davy (1778-1829), Berzelius concluiu que todas as combinações químicas dependem unicamente de duas forças opostas, uma positiva e outra negativa. Devido a generalizações e incoerências essas considerações foram aos poucos sendo abandonadas (BROWN, 1959).

O químico francês August Laurent (1807-53) foi de encontro aos postulados de Berzelius, afirmando que os radicais não eram indestrutíveis. Suas pesquisas passaram a influenciar as teorias vindouras acerca da estrutura molecular.

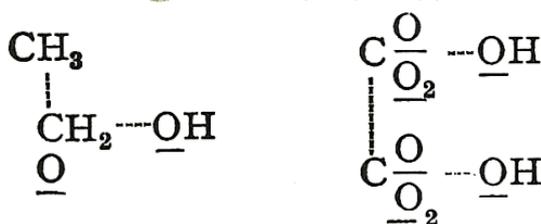
Laurent sugeriu que as moléculas orgânicas são constituídas de um núcleo (átomo) ligado a diferentes radicais. Pela Teoria dos Tipos, os dois hidrogênios da molécula de água (H_2O) podem ser substituídos por diferentes radicais para gerar diferentes tipos de compostos como o metanol (CH_3OH). A dificuldade surgiu, no entanto, na tentativa de transpor os resultados analíticos para fórmulas estruturais (ASIMOV, 1965).

As observações experimentais levaram os químicos a caracterizarem alguns padrões que puderam ser estendidos para o nível atômico. Em 1850, o químico alemão August Wilhelm von Hofmann (1818-1892) chegou ao raciocínio de que os

hidrogênios na molécula de amônia (NH₃) podem ser substituídos por um número correspondente de radicais (até três). No mesmo período, o químico inglês Alexander William Williamson comparou algumas propriedades da água, álcool e éter, observando que o oxigênio tem um poder fixo de ligação igual a dois. Juntamente com as contribuições de outros cientistas como o químico alemão Kolbe e o químico inglês Frankland, a concepção de Valência – da palavra “poder” em Latim – passou a servir de fundamento para a organização estrutural dos compostos químicos (ASIMOV, 1965; BROWN, 1959).

Em 1858, Kekulé e o escocês Archibald Scott Couper (1831-92) publicaram o que ficou conhecido como Teoria Estrutural, dando-lhes o *status* de fundadores da química estrutural moderna. A noção de carbono tetravalente permitiu afirmar que os compostos orgânicos são constituídos de cadeias de carbonos ligados entre si. Couper foi o primeiro a adotar diagramas com traços (Figura 1) para representar arranjos moleculares (SUTTON, 2008).

Figura 1 – Estruturas moleculares de Couper (1858) para álcool e ácido oxálico



Fonte: Wikimedia Commons, Domínio público.

Com a expansão das análises químicas algumas questões foram sendo levantadas. Como átomos e moléculas estão organizados no espaço? Sutton (2008) enfatiza que cientistas como Berzelius tinham descoberto pares de substâncias com a mesma composição química, mas diferentes propriedades. O termo cunhado para esse fenômeno foi “isomerismo” e vários outros cientistas, incluindo o francês Joseph Gay-Lussac, sugeriram que os pares de moléculas dessas substâncias continham os mesmos átomos, porém arranjos diferentes.

Na década de 1860, o químico russo Butlerov mostrou como o uso de fórmulas estruturais poderia explicar a existência de isômeros. Foi ele quem definiu o termo “estrutura química” como o resultado de um arranjo químico derivado da combinação de átomos com diferentes e limitadas forças químicas – afinidades ou valência (LEICESTER, 1959). Ainda que não fosse possível prever com exatidão a

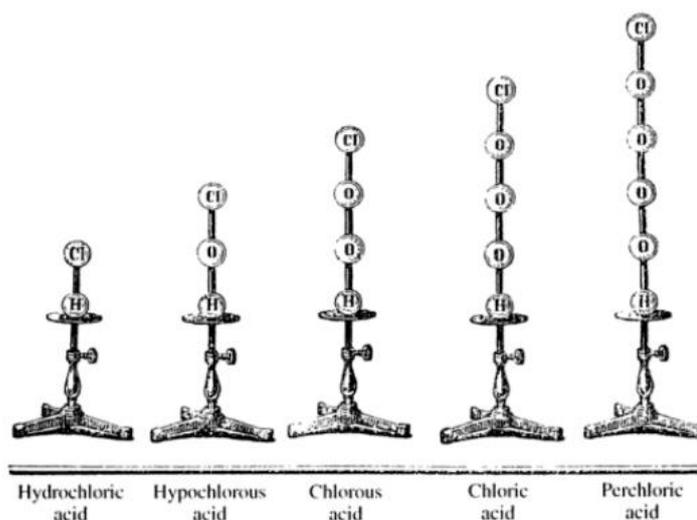
organização espacial dos átomos, os químicos sempre viram nas fórmulas estruturais um caminho para compreender as estruturas das moléculas e assim aplicar tais conhecimentos em problemas práticos da química orgânica.

A primeira exposição pública de modelos moleculares físicos que se tem registro é atribuída a von Hofmann, que em 1865 proferiu uma palestra sobre o poder de ligação dos átomos, demonstrando experimentalmente como algumas reações químicas seguem regras que podem ser representadas estruturalmente.

O ponto chave de sua discussão residiu nas capacidades de ligações fixas dos átomos de carbono (4), oxigênio (2), nitrogênio (3) e hidrogênio (1). Segundo von Hofmann (1865), a peculiaridade de cada átomo citado poderia ser representada através de demonstrações mecânicas (modelos físicos).

Utilizando bolas do jogo *croquet*, ele montou uma série de moléculas para ilustrar o efeito da adição de outros átomos à estrutura base. Baseado na teoria da estrutura molecular, von Hofmann utilizou modelos físicos para explicar a razão pela qual o ácido clorídrico (HCl) poderia ser transformado em ácido hipocloroso (HClO) pela adição de 1 oxigênio, ácido cloroso pela adição de 2 oxigênios, ácido clórico pela adição de 3 oxigênios e ácido perclórico pela adição de 4 oxigênios à molécula (Figura 2).

Figura 2 – Estruturas moleculares de alguns ácidos apresentadas por von Hofmann em 1865



Fonte: Acessada da obra de Knight (1998).

Percebe-se que cada estrutura tem o oxigênio contemplando seu número de combinação fixa (2). Segundo Meyer e McGowan (1906), alguns químicos eram contrários à exposição de fórmulas baseadas na teoria estrutural como indicadores

da disposição espacial das moléculas, pois não havia recurso eficiente para esse fim.

Com efeito, as quatro últimas estruturas (Figura 2) destoam dos arranjos espaciais conhecidos atualmente para essas moléculas, enquanto que as três últimas diferem também na ordenação dos átomos. Sabe-se hoje que há uma centralização do átomo de cloro.

O químico von Hofmann seguiu o mesmo raciocínio e ilustrou como as moléculas de etano, propano, pentano, entre outras, poderiam ser construídas a partir do metano (Figura 3), mas agora com uma diferença: Para cada carbono adicionado haveria a necessidade de adicionar mais dois hidrogênios, devido ao seu poder de combinação fixa igual a quatro.

Figura 3 – Modelo molecular do metano apresentado por von Hofmann em 1865



Fonte: Henry Rzepa, Wikimedia Commons, Licença de Documentação Livre.

A representação molecular da Figura 3 é mais um exemplo da aplicação da teoria estrutural molecular derivada de Kekulé e Couper, mas dessa vez de forma mecânica. Se comparado com o que se sabe e com o que se costuma representar hoje, a molécula ilustrada possui irregularidades geométricas, além da desproporção em termos de raio atômico do carbono e hidrogênio. As técnicas de análises químicas da época eram capazes de elucidar muitas fórmulas moleculares, mas a questão da estrutura molecular em três dimensões tomava mais tempo para ser elucidada.

O problema da tridimensionalidade das moléculas começou a ser resolvido a partir de 1879, com as descobertas da estereoquímica (SUTTON, 2008), ramo da química que estuda o arranjo espacial nas moléculas. Os isômeros ópticos não

podiam ser explicados unicamente pela teoria estrutural de Kekulé, pois suas estruturas se diferenciam apenas na organização espacial das moléculas e não na ordem dos átomos em si.

Os estudos da natureza e propriedades da luz foram cruciais para o desenvolvimento da estereoquímica. A identificação da atividade óptica – capacidade de uma substância rotacionar o plano da luz polarizada – de alguns materiais foi possível graças ao conhecimento das características e comportamento da luz polarizada (DRAYER, 2001).

Em 1815, o físico francês Jean Baptiste Biot (1774-1862) mostrou que a passagem de luz polarizada através de certos cristais causava uma rotação – às vezes para direita e às vezes para a esquerda – no plano da onda eletromagnética polarizada. Percebeu-se também que algumas soluções orgânicas se diferenciavam apenas em suas propriedades ópticas, sugerindo que a estrutura molecular da substância deveria ser a razão para esse fenômeno, que passou a ser chamado de isomeria óptica (ASIMOV, 1965).

O problema dos isômeros ópticos começou a ser resolvido a partir dos trabalhos do francês Louis Pasteur (1822-95), que em 1848 sugeriu que a atividade óptica de certos compostos tem relação com a assimetria das moléculas que os constituem (ASIMOV, 1965). Ele chegou a essa conclusão depois de examinar duas substâncias especiais: ácido tartárico ordinário e ácido paratartárico (também chamado de ácido racêmico).

Desde 1820, sabia-se que ambas as substâncias possuem a mesma composição química, e em 1844 o químico alemão Eilhard Mitscherlich observou que o comportamento frente à atividade óptica é diferente. Quando cristais do ácido tartárico eram dissolvidos e submetidos à análise óptica, o plano da luz polarizada se desviava, enquanto que para o ácido paratartárico o desvio não acontecia.

Pasteur demonstrou que a diferença entre os compostos citados está no arranjo espacial dos átomos na molécula. No caso das substâncias em questão, esse fenômeno se apresentava também macroscopicamente, permitindo a separação dos cristais com lentes de aumento e pinça. Através de vários experimentos, Pasteur concluiu que o ácido paratartárico (racêmico) é, na verdade, a mistura de duas formas assimétricas do ácido tartárico.

Atualmente, o ácido tartárico pode ser identificado em sua forma dextrógira, porque desvia a luz polarizada à direita (+) e levógira (-), porque desvia para a esquerda. Já a mistura racêmica antes chamada de ácido paratartárico é hoje conhecida como (+)-(-) - ácido tartárico (VOLLHARDT & SCHORE, 2013).

Embora Pasteur tenha sugerido que o desvio da luz polarizada se dá em consequência do arranjo tridimensional das moléculas, ele não desenvolveu essa ideia. Então, baseados na noção de carbono tetravalente proposto por Kekulé e na noção de assimetria molecular de Pasteur, van't Hoff e Le Bel desenvolveram a “teoria do carbono tetraédrico”, demonstrando esquematicamente como uma molécula orgânica pode apresentar assimetria e resultar em pelo menos duas configurações dos átomos ligados ao carbono central, apresentando, dessa forma, estruturas não superponíveis, onde uma é imagem especular da outra.

As quatro ligações do átomo de carbono são, assim, arranjadas simetricamente sobre o átomo, e assimetria é introduzida apenas quando cada uma das quatro ligações é ligada a um diferente tipo de átomo ou grupo de átomos. Depois as quatro ligações podem ser arranjadas em exatamente duas formas, uma sendo imagem especular da outra. Esse padrão promove exatamente o tipo de assimetria que Pasteur tinha encontrado em seus cristais (ASIMOV, 1965, p. 120, tradução minha).

Conforme relatado por Drayer (2001), Le Bel não se preocupou em explicar a natureza tridimensional de substâncias que possuem atividade óptica em termos de ligações químicas ou carbono tetraédrico, mas da assimetria do material como um todo, assim como fez Pasteur. Embora a atividade óptica esteja comumente relacionada com a presença de carbonos assimétricos, existem compostos que desviam o plano da luz polarizada mesmo sem apresentar carbono assimétrico.

A apropriação de modelos físicos e diagramas era quase que indispensável para discutir os achados no campo da estereoquímica (RAMSAY, 1975). A limitação tecnológica não permitia uma rápida aceitação das considerações teóricas em torno da disposição dos átomos no espaço, pois eram basicamente de origem qualitativa. Na verdade, a própria concepção de átomo era questionada à época.

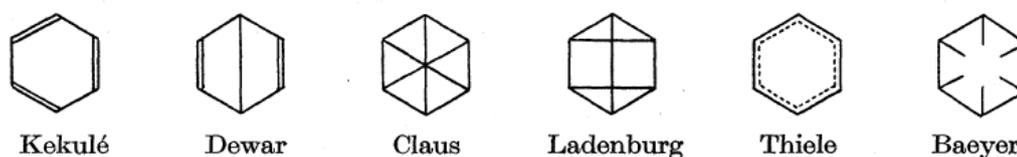
Conforme ressaltam Ramsay (1975), Meyer e McGowan (1906), vários cientistas se opuseram a tomar como válidas as relações existentes entre um resultado empírico e uma representação molecular. Com efeito, o problema do

benzeno foi um exemplo claro das controvérsias e tentativas muitas vezes frustradas para explicar a estabilidade desse composto através de modelos físicos e diagramas, mas por outro lado gerou oportunidades para a investigação da natureza das ligações químicas.

O problema surgiu com a identificação da composição do benzeno (C_6H_6) e suas propriedades químicas. Sabia-se que se a estrutura fosse uma cadeia aberta, esta conteria duplas e triplas ligações entre os carbonos, pois a quantidade de hidrogênios não seria capaz de saturar a cadeia. Porém, era consensual que cadeias com duplas e triplas ligações possuem alta reatividade, o que não tem a ver com o benzeno.

Kekulé sugeriu que a cadeia do benzeno deveria ser fechada e conter duplas ligações alternadas. Por conta da dificuldade em conciliar a estabilidade do núcleo benzênico com suas transformações químicas, várias estruturas foram propostas ao longo do tempo, como as indicadas na Figura 4.

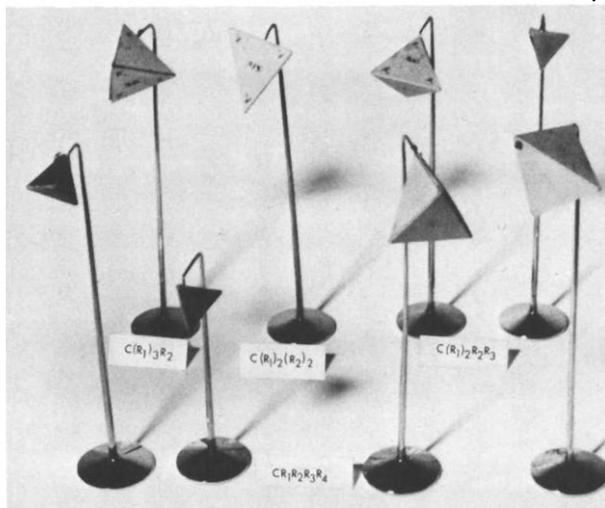
Figura 4 – Representações para o benzeno



Fonte: The Bakerian Lecture (INGOLD, 1938).

A Figura 5 mostra uns dos primeiros modelos moleculares físicos com referência ao carbono tetraédrico publicados por van't Hoff em 1877. Ramsay (1975) explica que os tetraedros apresentados não são regulares porque para van't Hoff o tetraedro só seria regular se todos os grupos ligados ao carbono assimétrico fossem idênticos.

Figura 5 – Modelos físicos de moléculas tetraédricas criados por van't Hoff

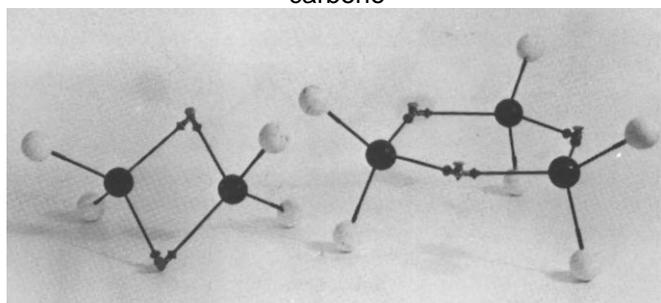


Fonte: Acessada da obra de Ramsay (1975).

O estudo do químico alemão Adolf von Baeyer (1835-1917) sobre a tensão causada pelas ligações entre os carbonos desencadeou uma série de hipóteses sobre as forças de atração dos átomos e estabilidade das moléculas. Modelos moleculares como os mostrados na Figura 6 foram usados para representar moléculas tridimensionais a partir de 1885, sendo comercializado na Europa até a década de 1930 (RAMSAY, 1975).

Essas estruturas foram chamadas de modelo de Kekulé-von Bayer e é possível perceber que para manter a geometria tetraédrica do carbono, as ligações precisam ser tensionadas, o que explicaria a facilidade de quebra da ligação no eteno e dificuldade de formação do clicopropano.

Figura 6 – Modelo molecular com ligações tensionadas para obedecer à orientação tetraédrica do carbono



Fonte: Acessada da obra de Ramsay (1975).

A primeira metade do século XX marcou o desenvolvimento de teorias atômicas e, conseqüentemente, abriu portas para a compreensão das ligações químicas. De fato, a resolução de muitos problemas da época dependia do aperfeiçoamento de técnicas analíticas e reformulações teóricas. A evolução da

concepção de molécula tridimensional não poderia ser alcançada sem os esforços dedicados à investigação da natureza das ligações químicas e seus efeitos sobre a configuração espacial das moléculas, sejam elas orgânicas ou inorgânicas.

A teoria da valência foi o ponto de partida para a identificação de padrões de ligações entre os átomos. Sidgwick ressalta que “nós podemos aprender sobre a natureza da valência a partir de evidências químicas” (SIDGWICK, 1927, p. 53, tradução minha). A sugestão da tabela periódica organizada por Dmitri Mendeleiev em 1869, inclusive, foi construída com base no valor numérico da valência dos átomos. Embora a teoria estrutural clássica de Kekulé tenha tomado a atenção da comunidade científica, outras teorias emergiram a partir da descoberta do elétron para explicar as interações atômicas.

A teoria de Berzelius baseada nas ligações por atração eletrostática voltou à tona com os estudos de dissociação eletrolítica conduzidos pelo químico sueco Svante Arrhenius em 1884, mas enquanto a natureza das ligações iônicas ia sendo vagarosamente compreendida, o problema das ligações em compostos apolares permanecia.

Segundo o químico quântico americano Linus Pauling (1960), as representações de ligações químicas da teoria estrutural clássica satisfaziam muitos fatos químicos, mas possuíam significância qualitativa em termos de estrutura molecular. O autor enfatizou também que a química estrutural moderna se diferencia da clássica pela exploração de detalhes de moléculas graças ao desenvolvimento de técnicas de difração de raios X e espectrometria.

Em 1916, o químico americano Gilbert Newton Lewis (1875-1946) publicou um artigo intitulado “*the atom and the molecule*” que se tornou referência para a evolução da noção de ligação química covalente. Nesse artigo (LEWIS, 1916), as propriedades das substâncias polares e apolares são tratadas como consequência das interações eletrônicas nas camadas de valência dos átomos envolvidos. As forças das ligações e interações intermoleculares são explicadas levando-se em consideração a bipolaridade das moléculas e afinidade eletrônica inerente a cada átomo.

Lewis (1916) argumentou que as propriedades das substâncias podiam ser explicadas através da “teoria do átomo cúbico”. Em 1904, o químico alemão Richard

Abegg havia observado que “a diferença total entre o máximo número de valência ou número polar negativo e positivo de um elemento é frequentemente 8” (LEWIS, p. 767, tradução minha), o que resultou em indícios para que Lewis formulasse o seu conceito de ligação covalente pautada na regra do octeto. Na ocasião, Lewis apresentou seis postulados para explicar algumas leis que governam o comportamento das reações químicas.

Tais postulados consideraram descobertas recentes da época. Até 1916, a tabela periódica já havia sido reorganizada por ordem de número atômico e já se considerava que o número de elétrons era igual ao número de partículas positivas no núcleo do átomo. Os trabalhos de Rutherford e Bohr sobre a estrutura atômica e organização dos elétrons ao redor do núcleo atômico também tinham recebido grande aceitação do público.

Além disso, já havia uma teoria sobre as ligações iônicas condizente com a teoria eletrolítica e aplicável a átomos ionizáveis, mas o problema, no entanto, se concentrava nos compostos em que não havia transferência de elétrons, como no HCl ou CH₄. Em 1927, Sidgwick escreveu:

O problema não é meramente descobrir um mecanismo que faz com que os átomos possam se unir sem a transferência de elétrons, mas também explicar porque o valor numérico da valência é o mesmo, de qualquer forma em casos simples, para ambos os tipos de ligação. Assim, hidrogênio e cloro são univalentes, e o oxigênio é divalente, sejam eles combinados com carbono, com metais ou um com outro e se as moléculas resultantes são ionizadas ou não. (SIDGWICK, 1927, p. 55, tradução minha).

A resposta para esse problema foi dada por Lewis, quando sugeriu que as combinações químicas acontecem de modo a redistribuir os elétrons dos átomos envolvidos para adquirirem um arranjo mais estável. Segundo ele, numa combinação química poderá existir uma variação de 0 a 8 elétrons.

Nesse sentido, a ligação pode acontecer por meio do compartilhamento de elétrons entre dois átomos, em que de alguma forma a estabilidade é alcançada para ambos, ou seja, a valência de ambos os átomos é satisfeita, por isso o termo ligação co-valente. A representação desses conceitos são as famosas estruturas de pares de elétrons de Lewis usadas até hoje.

Como resultado dos esforços dos químicos orgânicos para elucidar o problema da disposição espacial dos átomos em compostos opticamente ativos, os arranjos espaciais de muitas substâncias orgânicas e inorgânicas já haviam sido descobertos até a década de 1930.

Sidgwick contribuiu significativamente para a compreensão das ligações químicas e os arranjos moleculares. Em 1927, ele publicou o livro "*the electronic theory of valence*", cujas teorias atômicas de Rutherford e Bohr e, principalmente, a noção de ligação química de Lewis foram complementarmente utilizadas para explicar os fenômenos químicos no nível microscópico e estabelecer relações entre as teorias e a organização da tabela periódica.

Nesse livro, a discussão acerca da estrutura tridimensional das moléculas inorgânicas se limita aos exemplos do campo da estereoquímica e análise de substâncias opticamente ativas. O autor revela na apresentação do livro que evitou ao máximo discutir qualquer hipótese física que ainda não tivesse sido sancionada por aqueles que estavam mais qualificados para julgar.

Com efeito, as repostas mais convincentes para a natureza da ligação química e a influência dos elétrons na configuração da molécula começaram a surgir com o avanço das pesquisas em mecânica quântica.

Linus Pauling (1901-1994) se apropriou da mecânica quântica para explicar uma série de problemas que cercavam a concepção de ligação química. Pauling (1931) ampliou os conhecimentos da ligação por par de elétrons e introduziu novas informações como a hibridização de orbitais atômicos, forças de ligações entre diferentes átomos (eletronegatividade), ângulos entre as ligações, livre rotação em ligações simples e falta de rotação em ligações duplas, entre outros.

A evolução do conceito de ligação química contribuiu para a predição de estruturas químicas e propriedades dos materiais. Cálculos quânticos permitiram definir os ângulos de ligações de moléculas como H_2O , H_2O_2 , NH_3 , levando em consideração os efeitos dos elétrons em termos de função de onda e assumindo que um átomo com camada de valência completa (contando com pares ligantes e não ligantes) tende a tomar a configuração de um tetraedro.

As previsões da organização espacial de outras moléculas eram condizentes com as evidências de estudos cristalográficos por difração de raios X. Em seu

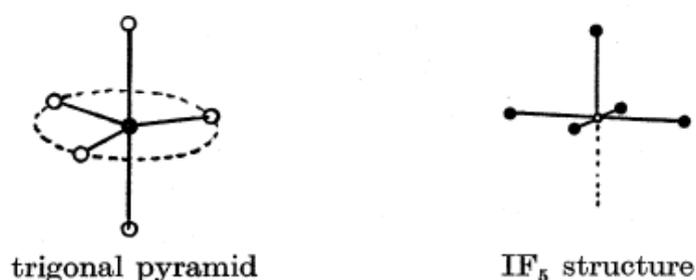
famoso artigo de 1931, Pauling sumariza ressaltando que com a ajuda da mecânica quântica um conjunto de regras relacionadas com pares de elétrons ligantes e não ligantes acabara de ser formulado.

O primeiro estudo cujo objetivo foi categorizar os arranjos espaciais das moléculas de acordo com o número de ligações do átomo central foi publicado em 1939 pelo japonês Ryutarō Tsuchida. Sob o argumento de que é possível determinar algumas propriedades e mecanismos de reações químicas através do conhecimento da geometria molecular, Sidgwick e Powell (1940) também apresentaram a configuração espacial de átomos polivalentes em função do número de ligações correspondente à suas respectivas valências. Em 1940, os autores diziam que

a determinação experimental das posições relativas espaciais dos átomos em uma molécula agora pode ser efetuada através de uma variedade de métodos, dos quais a medida de difração de raios-X em sólidos e elétrons em vapores, espectro de absorção e espectro de Raman, e em casos particulares atividade óptica e momento de dipolo elétrico, estão entre os mais importantes. (SIDGWICK & POWELL, 1940, p. 154, tradução minha).

A organização conceitual das diferentes geometrias moleculares – chamadas pelos autores de tipos estereoquímicos – incluiu muitos termos hoje já consolidados, tais como configuração linear, tetraédrica, octaédrica, quadrática planar. Outras configurações, como as mostradas na Figura 7, foram posteriormente chamadas de formas “trigonal bipiramidal” e “piramidal quadrática”, respectivamente.

Figura 7 – Configurações espaciais com a nomenclatura antiga



Fonte: Sidgwick e Powell (1940).

O canadense Gillespie e australiano Nyholm foram os químicos responsáveis pela refinação dos conceitos por trás da forma como as moléculas se organizam tridimensionalmente. O modelo de Sidgwick e Powell não respondeu alguns problemas mais específicos sobre a ligação covalente, tais como detalhar os

mecanismos de formação de uma ligação entre as camadas de valências e explicar como os pares de elétrons se distanciam uns dos outros.

Em 1957, Gillespie e Nyholm apresentaram um modelo que se constituiu na “Teoria da Repulsão dos Pares de Elétrons da Camada de Valência” – *VSEPR*, do inglês *Valence Shell Electron Pair Repulsion Theory* – com fundamentos consolidados da mecânica quântica. Com o objetivo de explicar a repulsão dos pares ligantes e não ligantes de um átomo central e os efeitos desses na configuração espacial da molécula, os autores utilizam os conceitos de hibridização de orbitais atômicos, ligações múltiplas (dupla e tripla), princípio da exclusão.

Embora o raciocínio empregado para a previsão das disposições espaciais das moléculas não tenha dependido integralmente dos estudos da mecânica quântica, Gillespie e Nyholm ressaltam que:

Parece que a teoria simples das repulsões de pares de elétrons recebe uma justificativa considerável da mecânica quântica e quando refinada para levar em conta as diferenças entre as repulsões entre pares solitários e pares de ligações de elétrons fornece uma teoria muito satisfatória da estereoquímica de moléculas inorgânicas. (GILLESPIE & NYHOLM, 1957, p. 1, tradução minha).

Basicamente, a diferença entre os modelos de Sidgwick-Powell e Gillespie-Nyholm é que no último a geometria molecular pode ser prevista a partir do conhecimento da hibridização dos orbitais correspondentes e do número de pares ligantes e não ligantes da camada de valência. Enquanto a orientação dos pares de elétrons é determinada pela quantidade de orbitais atômicos envolvidos na ligação, a geometria molecular é definida pela quantidade de pares ligantes e não ligantes do átomo central.

O trabalho de Gillespie-Nyholm também reuniu conceitos do princípio da exclusão e de orbitais atômicos, contribuindo para o entendimento das geometrias de metais de transição e complexos iônicos.

Por fim, a breve análise histórica permitiu traçar um conjunto de oito obstáculos (Quadro 1) que por um lado estagnou a evolução do conceito de GM e por outro impulsionou cientistas a buscarem alternativas teóricas e metodológicas para resolver os problemas que foram surgindo ao longo do tempo.

Quadro 1 – Principais obstáculos identificados para o desenvolvimento do conceito de GM

Marcador	Obstáculo	Principais autores que superaram
OB1	Teorias contrárias à concepção de átomo como entidade elementar da matéria.	Dalton
OB2	Dificuldade para determinar fórmulas estruturais a partir de resultados empíricos, levando em consideração a valência dos átomos.	Kekulé-Couper
OB3	Explicar isômeros em termos de estrutura molecular.	Butlerov
OB4	Limitação para a representação tridimensional de estruturas moleculares.	Hofmann
OB5	Dificuldade para elucidar o problema dos isômeros ópticos.	Van't Hoff-Le Bel
OB6	Inexistência de uma teoria para as ligações químicas que não dependem da transferência de elétrons (ligação covalente).	Lewis
OB7	Dificuldade para estabelecer relações entre a teoria atômica vigente e a configuração espacial de moléculas inorgânicas.	Sidgwick-Powell
OB8	Limitação teórica para explicar os mecanismos de ligação covalente e de repulsão dos pares eletrônicos.	Gillespie-Nyholm

Fonte: O autor (2018), inspirado em (GLASER, 1981, p. 309 *apud* ALMOULOU, 2007, p. 158).

Quando vistos do ponto de vista didático, os obstáculos sumarizados são importantes para a reflexão acerca do ensino habitual, uma vez que é possível identificar os fatores que interferem no processo de ensino e aprendizagem através de relatos de pesquisadores da área, sendo inevitável o enquadramento das dificuldades dos alunos dentro de um ou mais intervalos definidos no Quadro 1, como consequência da carência de conhecimentos relevantes para a compreensão da GM.

2.3 Levantamento teórico sobre o ensino habitual

Este tópico mostra a estruturação didática da noção de GM em termos de abordagens metodológicas. Para isso, foram levantadas algumas referências bibliográficas de autores que trabalharam com a aprendizagem do conteúdo em jogo. São verificadas as dificuldades dos estudantes relatadas pelos autores, as estratégias e recursos didáticos e os fundamentos teóricos.

As recentes pesquisas que permeiam os processos de ensino e aprendizagem em química têm resultado em abordagens metodológicas que sugerem o desenvolvimento de competências e habilidades que permitam o aluno do EM julgar com fundamentos as diferentes formas de conhecimento construídas ao longo da história da química.

As abordagens metodológicas que fazem uso de aulas experimentais (manipulação de materiais de laboratório de química), jogos didáticos, abordagem CTSA (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente), tecnologias e projetos interdisciplinares têm sido investigadas, aplicadas em diferentes contextos e divulgadas em eventos da área como estratégias potencialmente capazes de promover a “construção de um conhecimento científico em estreita relação com as aplicações tecnológicas e suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas” (BRASIL, 2000, p. 240).

Os conhecimentos químicos a serem ensinados e aprendidos no EM são derivados, de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM de três pilares: transformações químicas; materiais e suas propriedades e modelos explicativos (BRASIL, 2002). No que concerne às pesquisas em ensino e aprendizagem em química, dentre os conteúdos elencados pelos educadores, os relacionados a modelos e modelagem molecular têm sido frequentemente estudados (BENITE *et al.*, 2011; FREITAS *et al.*, 2012; GIBIN & FERREIRA, 2013; MELO & NETO, 2013) com o objetivo de viabilizar as práticas educativas, aproximando as bases teóricas da química no nível submicroscópico ao mundo visível através de modelos representacionais.

A necessidade de abordagens cada vez mais tridimensionais da ciência química – seja por meio da manipulação de materiais diversos (MACHADO *et al.*, 2014; SANTANA *et al.* 2015; LEANDRO *et al.*, 2015) ou recursos tecnológicos (COSTA *et al.*, 2015) – se dá, conforme Johnstone (2000), pela natureza submicroscópica, macroscópica e simbólica da ciência em questão. Afinal, a compreensão dos processos químicos depende da tomada de consciência pelo estudante das propriedades, leis e teorias que explicam a disposição geométrica das moléculas, que por sua vez, é resultado das interações eletrônicas entre átomos.

Quanto ao nível de representação submicroscópico,

o fenômeno químico é representado por meio do arranjo espacial e pelo movimento/interação de moléculas, átomos, íons, elétrons ou outras espécies químicas. É importante salientar que este nível explica em termos atômicos/moleculares as representações macroscópicas. (GIBIN & FERREIRA, 2010, p. 1811).

As dificuldades conceituais e, conseqüentemente, de compreensão dos modelos explicativos apresentados em livros didáticos, por exemplo, se caracterizam, em geral, pelo caráter abstrato das representações submicroscópicas e simbólicas da química (GIBIN & FERREIRA, 2010). Esse caráter abstrato justifica a necessidade de aproximações teóricas que subsidiem o planejamento, elaboração, aplicação e avaliação de sequências de ensino, de modo a considerar a natureza epistemológica dos conhecimentos envolvidos.

Pesquisas têm revelado que muitos estudantes possuem limitações para explicar fenômenos químicos no nível microscópico ou para o aprendizado de representações simbólicas (PEKDAĞ & AZIZOĞLU, 2013). Diante das justificativas de trabalhos publicados, pode-se considerar que algumas aulas de química constituem-se de explicações vagas sobre conceitos relacionados à matéria em nível atômico e molecular, tornando difícil a compreensão detalhada dos fenômenos macroscópicos que visualizamos, tocamos e sentimos.

Com efeito, alguns resultados provenientes de intervenções didáticas (MACHADO *et al.*, 2014; SANTANA *et al.*, 2015) têm desvelado que a criação e utilização de modelos moleculares manipuláveis contribuem para uma melhor percepção visuoespacial das interações químicas, enriquecendo, assim, o entendimento dos processos que dependem da organização estrutural das moléculas.

Evidencia-se, porém, que uma das lacunas encontradas em alguns trabalhos é devido à escolha da fundamentação teórica ou à falta desta, que acaba não produzindo trabalhos com um rigor metodológico que delinieie coerentemente as ações tomadas e seus efeitos durante a realização das atividades teóricas e/ou práticas. Devido à vasta possibilidade de abordagem teórica para lidar com o ensino e aprendizagem de GM, vários estudos se limitam a aspectos mais específicos do conteúdo.

Uma pesquisa no Banco de Teses e Dissertações da CAPES sob o domínio da palavra-chave “geometria molecular” (2006-2017) revelou uma variedade de

abordagens teóricas e metodológicas na investigação de GM e conteúdos que de alguma forma se relacionam com a visualização de moléculas tridimensionais. Sebata (2006), por exemplo, se baseou na noção de imagem e níveis de iconicidade para fundamentar uma SD, que considerou o estudo de formas geométricas e suas relações com as formas moleculares. Além disso, o autor utilizou um programa de computador para mediar a aprendizagem dos alunos. Em 2010, Raupp concluiu que os estudantes do seu grupo amostral tiveram uma evolução significativa no conceito de estrutura molecular e na capacidade de resolver problemas de estereoisomeria depois de serem submetidos a uma sequência de atividades de manipulação de moléculas por meio de recurso computacional. A autora fundamentou o processo de aquisição de habilidades visuoespaciais sob as lentes da Teoria dos Campos Conceituais do francês Gerard Vergnaud.

Neto (2007) enfatiza a importância do professor no processo de aprendizagem do aluno durante atividades com aplicativos de computador. Em sua pesquisa, o autor concluiu que a utilização de tecnologias e modelos moleculares físicos propicia a aprendizagem de conceitos de GM. Similarmente, Ramos (2015) evidenciou que a aprendizagem a partir de *softwares* auxilia o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais. Fundamentada na Teoria da Mediação Cognitiva, a autora analisou os gestos descritivos dos estudantes e pôde constatar o aprimoramento de competências representacionais.

Atividades lúdicas como jogos didáticos também têm sido aclamadas como ferramentas facilitadoras. Silva (2016) investigou os efeitos de uma SEA fundamentada na Teoria Cognitiva do norte americano David Ausubel e obras do brasileiro Paulo Freire, em que foram utilizados jogos didáticos e manipulação de materiais alternativos para a promoção da aprendizagem de GM. Os resultados mostraram que o engajamento e comprometimento dos alunos permitiram uma melhor compreensão dos conteúdos. Na mesma perspectiva, Bouson (2015) mediou uma atividade didática com balões de ar como ferramentas alternativas para a concepção de organização molecular no espaço.

É evidente que relatos de experiências de sala de aula têm se transformado em oportunidades de pesquisa no âmbito do ensino de ciências. Anualmente, publicações de várias naturezas vêm intensificando a necessidade de mudanças metodológicas, uma vez que abordagens teóricas cada vez mais relacionadas com

os objetos de pesquisa têm desvelado possibilidades mais eficazes para a aprendizagem.

O levantamento bibliográfico acerca do ensino de GM mostrou que a preocupação dos educadores repousa, em sua maioria, no desenvolvimento de habilidades visuoespaciais dos alunos. De fato, a aprendizagem do conteúdo em tela vai além da compreensão de etapas para se chegar a um arranjo tridimensional correto, pois é preciso treinar o aluno para ele seja capaz de entender o que as representações simbólicas significam num contexto de aplicação amplo. O problema é que nem sempre os educadores levam em conta as especificidades do conteúdo e os erros conceituais muitas vezes gerados e acumulados de instruções antecedentes. O caso da concepção de geometria molecular é ainda mais crítico, pois o “macro” que se pretende entender depende do “micro”, que por sua vez depende de conhecimentos preliminares de estrutura atômica e ligações químicas.

Alguns trabalhos específicos que investigaram erros conceituais de conteúdos já estudados revelaram que muitos alunos de fato não entendem as noções básicas que permeiam a configuração espacial das moléculas, embora sejam capazes de reproduzir exemplos e responder questões corretamente. Uma pesquisa conduzida por Goh e Sai (1992) mostrou que de um total de 478 estudantes pré-universitários, 85,1% concebiam o resultado da geometria molecular como consequência da repulsão entre os átomos na molécula. Quando perguntado sobre a influência dos pares de elétrons na conformação da molécula, 55% dos alunos consideraram somente a repulsão entre os pares de elétrons ligantes, enquanto que 54,4% responderam que a forma da molécula é devida somente a repulsão de pares de elétrons não ligantes. Em outra pesquisa envolvendo 110 alunos de nível superior das áreas de química, física e biologia, Uyulgan *et al.* (2014) identificaram que para 22% dos alunos as estruturas NH_3 e NF_3 não podem possuir diferentes ângulos de ligação em suas geometrias piramidais trigonais.

A superação de obstáculos ao longo dos anos permitiu que um refinamento dos conhecimentos fosse feito para que pudéssemos nos apropriar de saberes estruturados de acordo com os objetivos institucionais e níveis de dificuldade inerentes às etapas do desenvolvimento cognitivo do indivíduo.

Uma das formas de perceber como o conhecimento de GM vem sendo organizado nas escolas brasileiras é investigando os livros didáticos adotados⁷ (ALMOULOU, 2007). No livro adotado pela escola que foi o campo desta pesquisa, por exemplo, a abordagem do conteúdo de GM é iniciada pela definição de arranjo específico tridimensional, seguida pela introdução das etapas para a determinação da geometria de acordo com a teoria da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência (VSEPR). É mostrada uma tabela contendo as cinco principais formas moleculares (linear, trigonal plana, piramidal, tetraédrica, angular), em que o número de pares eletrônicos ao redor do átomo central é o que determina a orientação espacial dos átomos, enquanto que a forma molecular é influenciada pelos pares de elétrons não ligantes. Posteriormente, é introduzida a noção de hibridação de orbitais atômicos para a explicação das ligações duplas e triplas e as geometrias moleculares correspondentes. Uma nova tabela é apresentada, mas agora relacionando o tipo de hibridação – sp , sp^2 , sp^3 – com a forma geométrica – linear, trigonal plana, tetraédrica. As geometrias bipirâmide trigonal e octaédrica são apresentadas fora das tabelas como o resultado da repulsão de pares eletrônicos de átomos com níveis de valência expandidos.

Em outro livro didático do EM utilizado em uma escola privada de Aracaju/SE, o conteúdo de GM é apresentado em uma única lauda, com a apresentação das etapas para a determinação de sete tipos de forma molecular, obedecendo a teoria da repulsão eletrônica de Gillespie-Nyholm. Dessa vez, não há referência ao conceito de hibridação para a explicação das ligações químicas e geometrias moleculares.

Embora existam Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) que orientem a organização curricular de química com base no estabelecimento de competências e habilidades a ser alcançadas na educação básica, não há uma regra que dite a ordem ou o nível de profundidade dos conteúdos. O conteúdo de GM pode ser considerado um subconjunto do tema estruturador 2 dos PCNEM (2002), que trata da interpretação de modelos explicativos para a representação de aspectos microscópicos da matéria.

Ao analisar três livros que foram aprovados no Plano Nacional de Livro Didático (PNLD) de 2018 quanto à: extensão do conteúdo GM com base na

⁷ Os títulos analisados para discussão desse tópico não serão mencionados por questões éticas.

evolução histórica do conceito; justificativa para a aprendizagem; e elementos facilitadores da aprendizagem, chegou-se à conclusão de que de fato não existe uma regra para a organização dos conteúdos, mas há um consenso para conceitos-chave que não podem deixar de ser contemplados. Em todos os livros analisados, o resumo da teoria da repulsão eletrônica de Gillespie-Nyholm é apresentado em forma de tabela.

No livro 1, a justificativa para a aprendizagem de GM repousa no entendimento da polaridade das substâncias. Além disso, as representações geométricas são apresentadas como fórmulas estruturais (projeção de Fisher) e embora sejam dados exemplos com ligações duplas, não há explicação da natureza dessas ligações com base na teoria das ligações químicas da mecânica quântica. Com justificativa similar à obra anterior, a proposta da editora do livro 2 enfatiza a necessidade de compreensão das representações tridimensionais a partir das bidimensionais. Para isso, os autores lançam mão de modelos espaciais do tipo bola e vareta juntamente com as respectivas fórmulas estruturais e representações do tipo *bond line* para facilitar a visualização e transição das representações. As explicações quânticas para as ligações químicas são apresentadas no último capítulo do volume 3 da coleção, onde os autores discutem as relações entre as ligações químicas de Lewis com o modelo quântico que trata da formação de orbitais moleculares a partir da sobreposição de orbitais atômicos, resultando na formação de orbitais híbridos.

O terceiro livro analisado aborda o conteúdo através da história, apresentando como é possível descobrir a forma das moléculas através da observação macroscópica de cristais, como feito por Pasteur e de técnicas mais sofisticadas, como a difração de raios X, microscopia eletrônica e outras. É mostrado um resumo histórico da proposição do carbono tetraédrico por van't Hoff, bem como a demonstração de representações espaciais do tipo "bola e vareta" e "preenchimento espacial". É proposta uma atividade experimental cujo objetivo é utilizar esferas de massas de modelar para representar formas geométricas de moléculas. A natureza das ligações químicas no nível quântico não é discutida na coleção da editora.

A verificação dos conceitos abordados no livro de que trata os resultados acima não teve a finalidade de julgar a sua eficiência enquanto recurso didático; na verdade, permitiu identificar potencialidades e lacunas a ser consideradas durante a

elaboração da sequência didática. Por exemplo, a ausência de fundamentos da mecânica quântica para explicar a natureza das ligações químicas não impede a compreensão dos alunos dentro do quadro de objetivos visados pela educação básica brasileira. Por esse motivo, foi observado que mesmo os livros que não trazem uma abordagem mais ampla dos conceitos de GM foram aprovados no PLND.

Dessa forma, buscar subsídios na história e epistemologia de um dado conteúdo significa buscar argumentos para criticar e refletir acerca da organização didática em voga. Também é imprescindível que a análise de um livro se dê a partir do conhecimento de documentos oficiais para que seja possível identificar os pontos fortes e fracos dentro dos fundamentos que norteiam a análise.

Até aqui foram investigados como se deu a evolução da noção de GM, o que pesquisas têm sugerido como recursos e metodologias e como as evidências institucionais mapeiam a organização didática desse conteúdo. Portanto, após o cruzamento das informações foi possível elencar alguns aspectos importantes relacionados ao ensino de GM, que estão descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Considerações sobre a organização didática do conteúdo GM nos últimos 5 anos

Marcador	Considerações
C1	Há uma preocupação importante por parte dos pesquisadores quanto aos aspectos cognitivos envolvidos na aquisição de competências representacionais de GM, como o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais.
C2	A organização de atividades didáticas carece de fundamentos teóricos que permitam estruturar conscientemente as diferentes etapas da aprendizagem.
C3	Alguns livros didáticos não consideram os mecanismos cognitivos de aprendizagem de múltiplas representações de modelos moleculares.
C4	As dificuldades de aprendizagem de GM e os erros conceituais recorrentes derivam da falta de recursos pedagógicos que potencializem a visualização de fenômenos microscópicos.
C5	Recursos tecnológicos e alternativos são os mais requisitados para o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais em química.
C6	As justificativas históricas e contextualização da GM são pouco satisfatórias.

Fonte: O autor (2018).

Nessa perspectiva, propõem-se um caminho teórico e metodológico diferente dos já apresentados para investigar os efeitos de atividades experimentais na

aprendizagem de GM, considerando principalmente as questões levantadas nessa fase preliminar da pesquisa.

Portanto, a próxima seção trata da fundamentação teórica que embasou a estruturação da SD, que por sua vez permitiu a avaliação do desempenho dos estudantes em cada uma das etapas considerando os diferentes objetivos de aprendizagem.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente seção traz fundamentos teóricos acerca da aprendizagem na perspectiva da neurociência cognitiva⁸. Não necessariamente enfoca a discussão no nível neuroquímico do processo de formação de memórias, mas tece relações entre os achados das áreas da neurociência, psicologia e educação⁹ relativos a processos cognitivos mais específicos, como a importância da “rotação mental” no desenvolvimento de habilidades visuoespaciais em ciências, ou gerais, como a influência do olfato na consolidação e evocação da memória relacionada a eventos cotidianos.

Dada a especificidade do conteúdo GM e as considerações levantadas na análise preliminar, o estudo dos fatores que influenciam a formação da memória de longo prazo, somado à investigação dos processos de aquisição de habilidades visuoespaciais em química, foi direcionado à elaboração de marcadores de referência que permitiram fundamentar a concepção de uma SD.

3.1 Neurociência Cognitiva e Educação: a aprendizagem em termos neurocientíficos

A busca pela compreensão dos mecanismos cognitivos, em se tratando do processamento da informação para a efetivação da aprendizagem, tem levado educadores a tentar identificar como o entendimento do cérebro humano pode contribuir para o aprimoramento de metodologias de ensino e aproveitamento da capacidade de aprendizagem dos estudantes. O ramo das Ciências da Aprendizagem tem ganhado espaço nos debates científicos devido ao esforço conjunto de pesquisadores para a aplicação na sala de aula dos conhecimentos oriundos dos laboratórios em forma de metodologias de ensino (HORVATH *et al.*, 2017).

⁸ “A Neurociência Cognitiva é uma área interdisciplinar de pesquisa que combina a mensuração da atividade cerebral (principalmente por meio de neuroimagem) com a realização simultânea de tarefas cognitivas por seres humanos” (PEREIRA, 2007, p. 158).

⁹ Cabe delimitar, para efeito desta pesquisa, o termo “educação” às experiências de sala de aula vinculadas ao processo de ensino e aprendizagem, em que é possível relacioná-las a fenômenos que ocorrem no sistema nervoso do aprendiz. Dessa forma, entende-se que a neurociência contribui para a educação propiciando oportunidade do professor refletir sobre estratégias pedagógicas e suas relações com as características/atributos do funcionamento cerebral.

Nesse sentido, a capacidade do cérebro humano em reter informações criteriosamente selecionadas e usá-las quando necessário tem impulsionado neurocientistas a investigar, e educadores e psicólogos a debater, os processos neurofisiológicos em prol da melhoria da educação. De acordo com a *ROYAL SOCIETY* (2011), a prática educacional pode ser transformada em decorrência das contribuições das neurociências, uma vez que a educação promove aprendizagem e a neurociência cognitiva procura entender os processos mentais envolvidos na aprendizagem. Ainda segundo a *ROYAL SOCIETY* (2011), pesquisas em neurociência sugerem que os resultados não são determinados somente pelo ambiente, mas por fatores biológicos que justificam diferenças na habilidade de aprendizado entre indivíduos. A neurociência cognitiva também tem mostrado que a aprendizagem de uma habilidade promove mudanças no cérebro e que tais mudanças são revertidas quando a prática das habilidades é cessada.

Para os educadores, considerar as propriedades bioquímicas que cercam os mecanismos de aprendizagem como importantes elementos de reflexão para a tomada de decisão em sala de aula, por exemplo, significa se apropriar de conhecimentos multidisciplinares e cientificamente comprovados, demonstrando vontade de atualização (OLIVEIRA, 2014).

Para um mínimo entendimento do processo de aprendizagem, considerando os pressupostos da neurociência cognitiva, faz-se necessário introduzir o funcionamento básico do Sistema Nervoso Central (SNC), em especial, tomar conhecimento de como se dá o processamento de informações no cérebro humano.

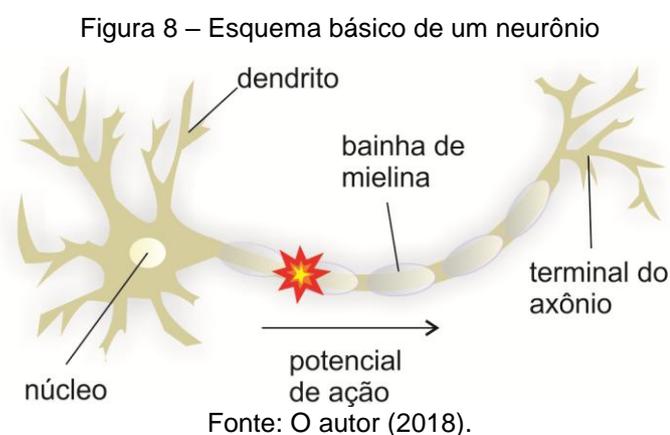
Tudo que fazemos – perceber, focar, memorizar, julgar, decidir, agir, aprender – é reflexo de informações captadas pelos receptores sensoriais, que são terminações nervosas localizadas nos órgãos dos sentidos capazes de receber um determinado estímulo e transformá-lo – por meio da transdução de sinais – em impulso nervoso (CARLSON, 2012). Em outras palavras, as informações na forma de luz, ondas sonoras, odores, paladares ou contato com objetos são primeiramente organizadas pelos neurônios sensoriais.

Os neurônios são células com a propriedade de se comunicar precisamente e rapidamente com outras células distantes. Tal feito é possível, portanto, graças ao alto nível de assimetria funcional e morfológica dos neurônios, além da suas

propriedades eletroquímicas, o que confere a essas células a capacidade de geração de corrente elétrica através da membrana (KANDEL *et al.*, 2014).

Existem vários tipos de neurônios, que se diferenciam por sua morfologia e que desempenham atividades específicas no sistema nervoso. A estrutura básica de um neurônio (Figura 8) consiste em corpo celular (SOMA ou pericário), dendritos e axônio (BRANDÃO, 2004). O núcleo presente no corpo celular contém as informações básicas para sintetizar todos os neurotransmissores (substâncias químicas liberadas pelas vesículas presentes no terminal do axônio). Os dendritos, por sua vez, são prolongamentos que funcionam como terminais de recepção de informações de outros neurônios ou que se especializam em terminações sensitivas, presentes nos diferentes órgãos dos sentidos (KANDEL, 2014).

As mensagens que passam de neurônio para neurônio são transmitidas ao longo da “sinapse” (Figura 9), uma estrutura que conecta os terminais do axônio da célula que envia a informação e a parte do corpo celular ou dendritos da célula que recebe a informação. O axônio é um longo prolongamento coberto pela bainha de mielina (Figura 10) – uma camada lipídica que permite maior velocidade de tráfego dos impulsos elétricos – e sua principal função é conduzir as informações do corpo celular aos terminais do axônio. A mensagem básica que ele carrega é um impulso elétrico chamado de “potencial de ação” (CARLSON, 2012). Os terminais do axônio liberam as substâncias químicas neurotransmissoras que podem ter ação excitatória (sinapses excitatórias dando continuidade à transmissão de informações) ou inibitórias (sinapses inibitórias) (LENT, 2010).



As informações captadas do ambiente percorrem grandes distâncias ao longo dos neurônios sensitivos na forma de impulsos nervosos. Esses são gerados pela

transdução de sinais luminosos, químicos, mecânicos, entre outros, em modificações do potencial elétrico da membrana neuronal, ou seja, geração de corrente elétrica provocada pela diferença de potencial de substâncias eletricamente carregadas dentro e fora da membrana do neurônio.

Para entendermos a natureza elétrica dos neurônios precisamos recorrer a alguns conceitos eletroquímicos. O potencial elétrico da membrana dos neurônios é resultado do balanceamento entre duas forças opostas: difusão (processo espontâneo em que uma substância vai de um meio mais concentrado para o menos concentrado) e pressão eletrostática (força exercida pela atração ou repulsão de cargas elétricas). O movimento ordenado das partículas eletricamente carregadas – íons – produz o que chamamos de “corrente elétrica”. Com efeito, os fluidos intracelular e extracelular contêm diferentes íons - forma de um átomo que ganhou ou perdeu elétrons numa ligação química - que participam do controle do potencial da membrana, a saber, íons cloro (Cl^-), sódio (Na^+) e potássio (K^+).

Os íons Na^+ e Cl^- estão em grande concentração no fluido extracelular, enquanto que o K^+ está em grande quantidade no fluido intracelular. Estes íons participam da geração de impulsos elétricos, uma vez que se movimentam de um fluido para outro através da força de difusão e pressão eletrostática. Por exemplo, o íon K^+ está concentrado no interior do axônio, logo a força de difusão tende a forçar a sua saída para o fluido extracelular, porém a alta concentração do íon Na^+ fora da célula não permite a saída do íon K^+ devido à pressão eletrostática, pois cargas elétricas iguais se repelem (CARLSON, 2012). Similarmente, a entrada do íon Cl^- na célula é impedida devido à alta concentração de ânions orgânicos dentro da célula, pois o fluido intracelular é predominantemente negativo. O íon Na^+ está concentrado no fluido extracelular embora a força de difusão o force para dentro da célula, porém isso não ocorre porque a membrana é menos permeável para o Na^+ do que para o K^+ .

Essas características de permeabilidade seletiva da membrana são devidas a canais iônicos que regulam o trânsito dos íons Na^+ e K^+ . A pressão eletrostática também força a entrada do íon Na^+ para o meio intracelular devido à atração deste pelos ânions orgânicos, porém existem enzimas na membrana, comumente chamadas de bomba de sódio e potássio, que bombeiam três íons de sódio para

fora e dois íons de potássio para dentro da célula, mantendo, assim, o nível baixo do íon sódio no meio intracelular.

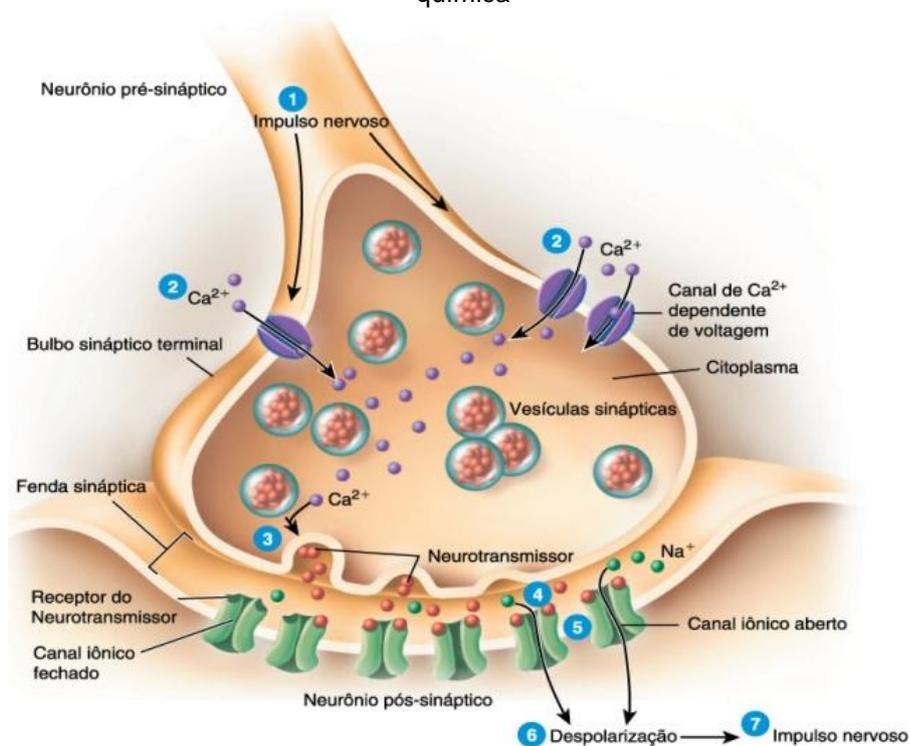
Experiências com microeletrodos têm mostrado que o interior do neurônio humano tem uma carga de cerca de -70 mV em relação ao lado externo (SCHIFFMAN, 2005). Esse estado de controle do potencial da membrana é chamado de potencial de repouso. Quando o neurônio é estimulado por outros neurônios ou por estímulos externos, os canais iônicos sofrem uma mudança e os trânsitos de Na^+ e K^+ são modificados, resultando em entrada de Na^+ e saída de K^+ e consequente alteração desse potencial, devido ao excesso de íons positivos no fluido intracelular. Essa modificação elétrica é o que chamamos de “informação” ou sinal no sistema nervoso. Na sinapse, ela é transferida de um terminal axônico (ou axonal) de um neurônio aos dendritos receptores dos neurônios adjacentes. Vale ressaltar, porém, que nem sempre a alteração de cargas no neurônio resulta na transmissão de informações. Segundo Schiffman (2005, p. 10), “cada neurônio tem um nível mínimo de estimulação que deve ser atingido, de modo que ele dispare e transmita um impulso”. A esse nível mínimo é atribuído o termo “limiar neural”.

Quando o limiar é atingido o potencial de ação ou impulso nervoso é gerado. Brandão (2004) descreve o potencial de ação como o resultado do distúrbio de cargas causado pela passagem de uma corrente elétrica através da membrana. “O meio intracelular, que é negativo no estado de repouso, torna-se transitoriamente positivo em consequência do grande influxo de íons Na^+ resultante da abertura seletiva de canais de Na^+ na membrana celular” (BRANDÃO, 2004, p. 32). Como já mencionado, o início de um sinal depende, portanto, dos canais iônicos na membrana da célula que se abrem em resposta às mudanças na membrana e de cargas elétricas e aos neurotransmissores liberados por outras células nervosas (KANDEL *et al.*, 2014). Schiffman (2005, p. 10) destaca que “quanto mais forte o estímulo, maior a frequência dos potenciais de ação”. A comunicação entre os neurônios é possível graças à geração de potenciais de ação, que chegam aos terminais axônicos do neurônio e são transmitidos – quando o limiar neural é alcançado – a outros neurônios através das sinapses elétricas e químicas.

Os terminais do axônio contêm (Figura 9) vesículas que liberam neurotransmissores quando um potencial de ação é disparado (BRANDÃO, 2004). Diferentes neurônios produzem e liberam neurotransmissores distintos. O transporte

de informações por meio de substâncias químicas (neurotransmissores) e na forma de corrente elétrica de um neurônio pré-sináptico, enviadas pelo terminal do axônio, a outro pós-sináptico, recebidas pelos dendritos, acontece na fenda sináptica, uma estrutura neural onde ocorre a transmissão de impulsos nervosos de um neurônio a outro por meio da ação de neurotransmissores (SCHIFFMAN, 2005). Os neurotransmissores atuarão na membrana do neurônio seguinte provocando a alteração da sua permeabilidade e assim, do potencial da membrana, com produção de novo potencial de ação ou impulso nervoso.

Figura 9 – Esquema da transmissão de um impulso nervoso (estímulo) através de uma sinapse química



Fonte: Tortora e Derrickson (2012, p. 249).

Os mecanismos básicos de comunicação entre os neurônios descritos aqui revelam de forma breve o ponto de partida dos processos que nos permitem “sentir”, “pensar” e “aprender”.

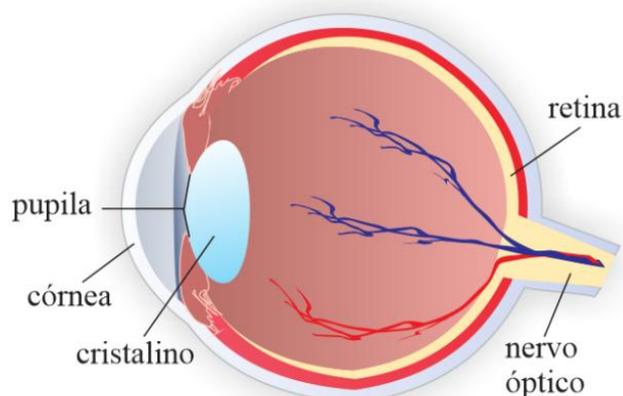
3.1.1 Um exemplo de como o cérebro traduz as informações captadas pelos órgãos sensoriais e as transformam em aprendizagem

Em se tratando dos princípios neurocognitivos envolvidos no processamento das informações ao longo do Sistema Nervoso (SN), segundo Carter *et al.* (2012), as

informações provenientes dos estímulos detectados pelos órgãos dos sentidos são convertidas em sinais elétricos e transmitidos para áreas do cérebro especializadas em decodificar os sinais e transformá-los em sensações.

Em situações em que o estudo de um tema é realizado por meio de livros didáticos, por exemplo, a visão é o sentido mais requisitado para a detecção de estímulos externos – como textos e figuras –, sendo responsável pela transdução da energia eletromagnética radiante (luz) em impulsos nervosos. As informações em forma de luz passam pela córnea e entra no olho através da pupila. A pupila controla a entrada de raios luminosos, retraindo-se quando em contato com iluminação intensa e dilatando-se quando a intensidade da luz diminui (CARTER *et al.*, 2012). O cristalino desvia os raios luminosos e os converge para a retina, onde há fotorreceptores especializados em transduzir a luz em sinais elétricos que são enviados ao cérebro pelo nervo óptico. A Figura 10 refere-se à anatomia básica do olho:

Figura 10 – Anatomia básica do olho



Fonte: O autor (2018).

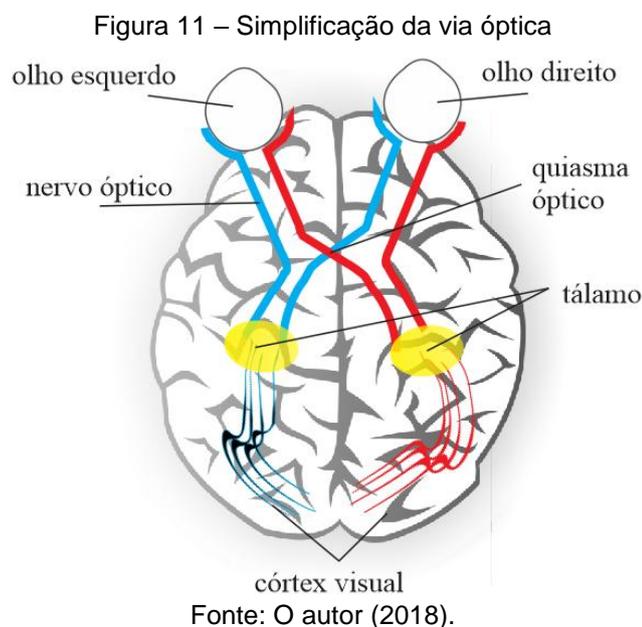
Com o objetivo de comparar algumas propriedades do olho humano com as características de uma câmera fotográfica, Lent (2010, p. 301) reitera que “o olho é uma câmera superautomática, que se direciona ‘sozinha’ ao objeto de interesse, focaliza-o automaticamente e transmite ao cérebro instantaneamente uma representação codificada da imagem”.

Não obstante, a percepção da realidade tridimensional e a tomada de consciência do que os seres humanos veem não acontece no olho em si, mas em

diferentes áreas do encéfalo, onde há diferentes estruturas neurais responsáveis pela decodificação das informações enviadas pelos estímulos luminosos.

Quando um objeto é visto, sua imagem é convergida na retina de forma invertida, justificada pela ação dos raios convergentes depois da passagem pela lente do olho (cristalino). Segundo Gazzaniga *et al.* (2006, p. 168), “a informação visual está contida na luz refletida dos objetos. Para perceber os objetos, necessitamos de detectores sensoriais que respondam à luz refletida”. Com efeito, a retina é composta por fotorreceptores que provocam a alteração elétrica de neurônios aí localizados. O fluxo de corrente elétrica gerado, ou impulso nervoso, é conduzido e transmitido ao longo dos neurônios da via visual até áreas específicas do cérebro responsáveis pela decodificação dos sinais elétricos e percepção consciente do objeto.

A Figura 11 mostra a via óptica percorrida pelos sinais elétricos após a passagem de luz pelo cristalino. Observa-se que os sinais provenientes dos dois nervos ópticos são levados até a parte posterior do cérebro, de onde são em seguida veiculadas para outras áreas cerebrais ligadas à emoção e à memória (CARTER *et al.*, 2012, p. 81).



Nesse sentido, “a informação proveniente dos olhos tem de percorrer toda a profundidade do cérebro antes de começar a ser processada e convertida em visão” (CARTER *et al.*, 2012, p. 80).

Em resumo, o estímulo visual passa por diversas modificações antes de se transformar em sensação, percepção e consciência visual (SCHIFFMAN, 2005). Inicialmente, os sinais luminosos (comprimentos de ondas e intensidade da luz) são codificados em sinais neurais por meio da transdução do estímulo físico. Em seguida as mensagens neurais viajam até o córtex visual, onde se transformam em sensações e percepções de cor, claridade, movimento e forma. Em seguida, o processo de percepção recorre às funções cognitivas como a memória, emoções e expectativas para traduzir as sensações em consciência visual, gerando atividade em redes neurais que potencialmente realizarão plasticidade, sofrendo mudanças estruturais e/ou funcionais relacionadas à aprendizagem.

O processamento das informações recebidas pelos canais sensoriais está associado a agentes reguladores que determinam a quantidade e a frequência de potenciais de ação gerados por um determinado estímulo. Com o intuito de estabelecer uma relação desses aspectos neurofisiológicos com o contexto da escola, consideremos um livro didático que traz problemas contextualizados por meio de recursos visuais e uma sequência lógica que permita uma melhor associação do conteúdo com a realidade dos alunos. Esse livro, hipoteticamente, poderia produzir uma reação emocional mais significativa e desencadear uma maior quantidade de potenciais de ação e, conseqüentemente, promover alterações morfológicas mais duradouras, relacionadas ao que conhecemos como memória.

Nessa dinâmica, a aprendizagem está intrinsecamente relacionada com a retenção de informações e, portanto, com a formação de memórias. Cosenza e Guerra (2011) salientam que a consolidação das memórias está associada às mudanças nas redes neurais que ocorrem durante o sono, quando as condições químicas são propícias à neuroplasticidade.

Com efeito, o cérebro está em constante mudança e tudo que fazemos (dormir, andar, falar, observar, interagir, aprender) desencadeia atividade neural refletida nos comportamentos adaptativos gerados por essa atividade cerebral. As mudanças e aquisição de comportamentos estão relacionadas ao fenômeno que ocorre nos neurônios comumente chamado de neuroplasticidade. Neuroplasticidade é o processo pelo qual as conexões (sinapses) entre os neurônios são fortalecidas quando são ativadas simultaneamente (ROYAL SOCIETY, 2011). No nível neuroquímico, a aprendizagem é compreendida como o resultado de alterações

químicas e estruturais do sistema nervoso de cada indivíduo, configurando-se num processo longo e individual. Em Brandão (2005, p. 100) é possível entender os processos de modificação do cérebro durante a efetivação da aprendizagem:

Em vista da dificuldade em se definir o que vem a ser aprendizagem tem-se optado por um termo mais geral que é a *plasticidade cerebral* que se refere a alterações funcionais e estruturais nas sinapses (zonas ativas de contato) como resultado de processos adaptativos do organismo ao meio. Estas modificações [...] promovem alterações na eficiência sináptica e podem aumentar ou diminuir a transmissão de impulsos com a conseqüente modulação do comportamento.

Achados neurocientíficos permitiram Cosenza e Guerra (2011, p. 38) resumir que:

A aprendizagem é consequência de uma facilitação da passagem da informação ao longo das sinapses. Mecanismos bioquímicos entram em ação, fazendo com que os neurotransmissores sejam liberados em maior quantidade ou tenham uma ação mais eficiente na membrana pós-sináptica. Mesmo sem a formação de uma nova ligação, as já existentes passam a ser mais eficientes, ocorrendo o que já podemos chamar de aprendizagem.

Dessa forma, os mecanismos elétricos e neuroquímicos nas células nervosas são responsáveis pela velocidade, qualidade e duração das informações externas adquiridas pelos órgãos sensoriais. Mais uma vez, no âmbito educacional, o entendimento das bases neurofisiológicas da aprendizagem oportuniza o desenvolvimento consciente de técnicas e métodos de ensino, uma vez que as pesquisas sobre o cérebro demonstram como o indivíduo recebe, processa, organiza, lembra e usa as informações.

3.1.2 A memória

As necessidades do cotidiano requisitam do indivíduo a memória para o desenvolvimento de suas ações. A aquisição de conhecimentos escolares, por exemplo, nem sempre é bem-sucedida e tem levado educadores a repensar suas práticas pedagógicas com o objetivo de oportunizar ao aluno a máxima apropriação de conhecimentos. Cosenza e Guerra (2011) enfatizam que estudos em psicologia cognitiva sugerem que o processo de memorização decorre da repetição, elaboração e consolidação das informações captadas do ambiente. A visualização e

leitura de informações concebidas por uma figura de um determinado livro, por exemplo, pode não significar a retenção dessas na memória, uma vez que tal processo depende da “relevância da experiência ou da informação” (COSENZA & GUERRA, 2011, p. 62).

No contexto neurocognitivo, segundo Carter *et al.* (2012), a consolidação da memória depende de experiências que provoquem uma atividade neural prolongada e/ou intensa, sendo necessário algum tempo para a formação da Memória de Longo Prazo (MLP), que geralmente não se forma “da noite para o dia”. Embora o processo de aprendizagem decorra da estimulação das conexões neurais (facilitação das sinapses) e, conseqüentemente, da formação de memórias, outras funções cognitivas estão mutuamente relacionadas.

É importante salientar que a memória é grandemente influenciada pelas emoções. Segundo LeDoux (2001, p. 244), “a emoção é uma experiência subjetiva, uma invasão apaixonada da consciência, um sentimento”. Adicionalmente, no contexto da sala de aula, a formação da MLP depende em grande parte da atenção dispensada pelo estudante ao conteúdo ou experiência a ser memorizada. Cosenza e Guerra (2011) enfatizam que a atenção e motivação são processos regulados pelo nível de alerta emocional e são etapas cruciais para a aprendizagem e consolidação da memória. Na concepção dos mesmos autores, uma pequena excitação pode ativar e causar mudanças fisiológicas numa série de sistemas neuronais ligados à amígdala e hipocampo, que são áreas cerebrais responsáveis pela regulação das emoções e formação de MLP, respectivamente.

O tópico subsequente aborda alguns aspectos da formação da MLP com o objetivo de justificar as escolhas didáticas que serão tratadas na metodologia, pois é importante conhecer como as informações advindas de diferentes estímulos são veiculadas em áreas responsáveis pelo armazenamento da memória.

3.1.2.1 Uma breve abordagem dos mecanismos da formação da memória

Os vários tipos de memória (Quadro 3) são classificados de acordo com a natureza da informação armazenada e pela duração. A memória de curta duração, que segundo Izquierdo (2011) dura entre 1 e 6 horas, acomete algumas regiões cerebrais principais diferentes daquelas responsáveis pelo maior envolvimento na

memória de longo prazo, que por sua vez tem um processo de consolidação mais longo.

Quadro 3 – Classificação das memórias

Aspecto	Tipo de Memória		Caracterização da Memória
Duração	Memória de trabalho		Mantém por pouco tempo, no máximo alguns minutos, a informação que está sendo processada no momento.
	Memória de curta duração		Dura de minutos a horas.
	Memória de longa duração/ longo prazo		Dura de dias a anos.
Conteúdo	Declarativa ou explícita (pode ser descrita por palavras)	Episódica	Eventos, acontecimentos com referência temporal.
		Semântica	Conhecimentos gerais, conceitos atemporais.
	Não declarativa ou implícita		Não pode ser descrita por palavras, refere-se ao aprendizado de habilidades motoras e sensoriais, além dos hábitos e condicionamentos a respostas emocionais.

Fonte: NUNES *et al.* (2015).

A memória de trabalho normalmente dura alguns segundos e é assim chamada porque ela serve como uma espécie de centro de controle das atividades que são processadas a todo o momento. Ao realizar o cálculo mental da operação $15 + 20 + 30 = 65$, inicialmente alguém pode precisar fazer a soma de um par de números e depois somar o resultado com o terceiro número para chegar à resposta correta. É bem provável que os números isolados sejam esquecidos rapidamente, enquanto que a memória do resultado final poderá durar o tempo suficiente para a sua utilização, a depender da importância desse número para quem o memorizou. Segundo Izquierdo (2011, p. 25), “a memória de trabalho diferencia-se das demais porque não deixa traços e não produz arquivos”.

Um aspecto importante da memória de trabalho é o envolvimento de dois subsistemas que coordenam representações transitórias dos objetos do meio. Kandel (2014) aponta o subsistema para a informação verbal como sendo o responsável pela regulação da informação com base na linguagem falada conscientemente. Assim, ao repetir para si mesmo uma informação que acabara de ser recebida, o indivíduo está estimulando áreas de armazenamento dos córtices parietais e processos articuladores no lobo frontal, na área de Broca, que está associada às representações ativas da informação enquanto se precisa dela.

O outro subsistema refere-se às características visuoespaciais da memória de trabalho, que “retém imagens mentais de objetos visuais e da localização dos objetos no espaço” (KANDEL, 2014, p. 1257).

Quando uma informação resiste ao filtro seletivo da memória de trabalho, ela passa a compor o sistema incumbido pelo registro de Memória de Curto Prazo (MCP), que serve para permitir a evocação de informações, mesmo quando essas estão em processo de consolidação (IZQUIERDO, 2011). Segundo Kandel *et al.* (2014), a MCP é convertida seletivamente em MLP. É importante salientar que as memórias de curto e longo prazo diferem nas atividades bioquímicas, principalmente porque a formação da MLP depende da produção de proteínas, enquanto que a formação de MCP não depende.

A MLP se divide em memória implícita e explícita. A primeira consiste nas memórias de capacidades ou habilidades motoras, os hábitos, enquanto que a segunda guarda fatos, eventos ou conhecimento (IZQUIERDO, 2011). Kandel *et al.* (2014, p. 1261) enfatizam que “a memória explícita é altamente flexível, permitindo a associação de múltiplos fragmentos de informação sob diferentes circunstâncias. A memória implícita, por outro lado, permanece fortemente dependente das condições originais sob as quais se deu o aprendizado.

Do ponto de vista educacional, e em especial, do objetivo didático desta pesquisa, a aprendizagem do conteúdo episódico e semântico relacionado à geometria molecular está associada à formação de MLP explícita, ao passo que o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais requisita a funcionalização da memória de trabalho explícita, que são processos conscientes. Segundo Kandel *et al.* (2014, p. 1273), “muitas habilidades cognitivas, motoras e sensoriais inicialmente formadas como memória explícita tornam-se tão enraizadas com a prática que são retidas como uma memória implícita”. Ainda,

O armazenamento da memória explícita de longa duração inicia no hipocampo e no lobo temporal medial do neocórtex, enquanto a formação da memória implícita de longa duração requer outras estruturas: o neocórtex para o “*priming*”, o estriado para os hábitos e as habilidades, a amígdala para o medo aprendido, o cerebelo para o aprendizado de habilidades motoras [...] (KANDEL *et al.*, 2014, p. 1274).

As evidências dos processos independentes dos tipos de MLP surgiram a partir de estudos de caso de pacientes com lesões em áreas específicas do encéfalo. Com o desenvolvimento de tecnologias, como técnicas eletrofisiológicas e de imageamento cerebral, neurocientistas têm elucidado muitas questões sobre a codificação, armazenamento, consolidação e evocação da memória.

No início desta seção, a noção de transmissão sináptica foi introduzida e foi mencionado que a comunicação neural acontece nas fendas sinápticas através das interações elétricas e químicas. Estudos que envolvem o monitoramento de alterações bioquímicas nas células do hipocampo, região de fundamental importância na formação de memórias explícitas, demonstram que o desencadeamento de potenciais de ação ao longo dos terminais do axônio inicia a liberação de glutamato, principal neurotransmissor excitatório do SNC, permitindo o influxo de Na^+ através dos receptores glutamatérgicos AMPA e despolarização da membrana pós-sináptica, que ativa o influxo de Ca^{2+} através dos receptores NMDA. A transição dos íons Ca^{2+} da fenda sináptica para o interior do neurônio é o fenômeno que promove a ativação subsequente de várias proteínas quinase. O processo continua com a sucessão de modificações moleculares complexas, passando pela transcrição do DNA até chegar à síntese proteica e produção de alterações morfológicas em sinapses específicas, como o prolongamento neural e intensificação das sinapses (IZQUIERDO 2011; LENT 2008; CORRÊA, 2010; KANDEL, 2001).

Esse é o processo básico que permite a consolidação das informações recebidas em forma de MLP. Nesse sentido,

[...] há consenso entre todos os pesquisadores da área de que, geralmente, as memórias consistem na modificação de determinadas sinapses de distintas vias, que incluem o hipocampo e suas principais conexões. [...] Do ponto de vista operacional, as memórias nada mais seriam do que alterações estruturais de sinapses, distintas para cada memória ou tipo de memórias. (IZQUIERDO, 2011, p. 61).

Um fator de grande relevância no âmbito da formação da MLP tem a ver com a modulação de etapas da consolidação da memória causada pela liberação de neurotransmissores diversos. Segundo Izquierdo (2011), os principais reguladores dos processos de memória são o glutamato, o GABA, a dopamina, a noradrenalina, a serotonina e a acetilcolina. A carência ou excesso dessas substâncias causa

interferência nos diferentes estágios da consolidação. Isso sugere que a consolidação e evocação da MLP são dependentes do nível de alerta, grau de ansiedade e estresse – cuja estimulação acontece pelas vias provenientes da amígdala –, bem como dos estados de humor estimulados pela aquisição de uma experiência nova ou pela evocação de uma experiência antiga (LENT, 2008).

O conhecimento da questão dos processos da modulação da memória é muito importante no contexto educacional, pois observa-se que os estados de ânimo do aluno parecem interferir na sua aprendizagem. Novamente com o intuito de relacionar aspectos cognitivos da aprendizagem com o cotidiano escolar, poderíamos sugerir que o sono, o estresse, o nervosismo são condições internas do sujeito que talvez impeçam a aquisição, consolidação e evocação da memória de conteúdos escolares, enquanto que um bom estado de alerta e bem estar talvez favoreça a aprendizagem. Além disso, os fatores externos tais como a organização do ambiente e recursos disponíveis poderiam influenciar a formação da MLP.

A amígdala é uma região fortemente relacionada com as reações emocionais e desempenha um importante papel na modulação das fases da consolidação de informações que dispõem de grande carga emocional. “Essa estrutura envia fibras ao córtex entorrinal e diretamente ao hipocampo, através das quais processa seu papel modulador” (IZQUIERDO, 2011, p. 88). É por esse motivo que lembramos melhor e com mais detalhe os eventos emocionais.

Além disso, Herz e associados (2004) evidenciaram que memórias explícitas evocadas pelo olfato desencadeiam cargas emocionais mais acentuadas do que aquelas evocadas por outros estímulos sensoriais. Anatomicamente falando, existem conexões diretas entre o sistema olfatório e os complexos da amígdala e hipocampo. O grupo concluiu que pistas baseadas em odores para recordação de eventos provocam maior ativação de redes neurais ligadas à emoção do que dicas visuais.

O sistema gustativo também desempenha um papel importante na formação e evocação da memória de longo prazo, trabalhando em conjunto com o sistema olfatório para a geração de atividades emocionais (MIRANDA, 2012).

Transferindo para a sala de aula, um objetivo a alcançar com a implantação de recursos olfativos e gustativos (odor e degustação de alimentos) pode estar

relacionado com a sensibilização do estudante através de elementos do cotidiano para que posteriormente os eventos emocionais que circundaram a aprendizagem inicial sejam reconhecidos e continuem elicitando contextos significativos.

É importante ressaltar que o processo de consolidação da memória é tão instável que a exposição a novos conhecimentos logo depois da aquisição de uma dada informação pode anular a formação de novas memórias (IZQUIERDO, 2011; KANDEL, 2014). Isso sugere que por mais que se tente arquivar conteúdos de diversas disciplinas escolares dentro de um curto intervalo de tempo, os sistemas neurobiológicos não permitem esse feito. Sendo assim, como cobrar do aluno uma sucessão de conteúdos disciplinares sem considerar as condições mínimas de tempo para a aprendizagem? Quais são os estímulos dados pelo professor para que o aluno consiga acessar os arquivos de memória?

De acordo com Izquierdo (2011, p. 79), “no momento da evocação, o cérebro deve recriar, em instantes, memórias que levaram horas para ser formadas”. O fenômeno que permite o ser humano aprender continuamente através da incorporação de novos conhecimentos a uma arquitetura neuronal já existente é a possibilidade de ação da plasticidade durante a evocação e reconsolidação de memórias, pois os mecanismos da evocação da MLP, embora sejam diferentes do estágio de consolidação, envolve a síntese protéica. Brown *et al.* (2014) defendem que para evitar o esquecimento, a prática da recuperação (*retrieval practice*) é uma estratégia eficiente, uma vez que o aprendiz revisa um conteúdo de uma maneira diferente daquela em que a memória foi inicialmente formada.

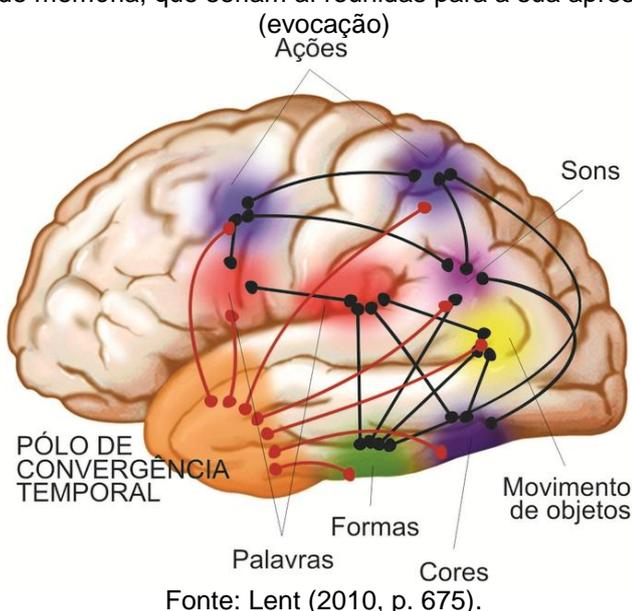
É bem conhecido o fato de que a evocação será tanto melhor, mais fácil e mais fidedigna quanto mais componentes do(s) estímulo(s) condicionado(s) sejam apresentados na hora do teste. Não basta pedir para o aluno numa sala de aula que responda bem às perguntas de uma prova escrita. É preciso indicar qual é a disciplina sobre a qual deverá responder, qual é o assunto dessa disciplina e quais são as perguntas que se deseja que ele responda. (IZQUIERDO, 2011, p. 80).

O posicionamento do autor acima reforça a noção de funcionalidade específica de algumas áreas cerebrais que se interconectam para tornar consciente a percepção das coisas. O processo de aprendizagem, por exemplo, começa com a transcrição dos sinais no córtex, que são posteriormente transmitidos para o hipocampo, onde novas memórias se formam. Porém, exames em pacientes com

hipocampo lesionado mostraram que enquanto novas memórias não se formam as antigas não são afetadas, sugerindo, segundo a “teoria da consolidação”, que o hipocampo transfere engramas temporários para as diferentes regiões do neocórtex (LENT, 2010). Isso leva à compreensão do ato de recordar eventos e conteúdos a partir de diferentes estímulos.

Neurocientistas têm evidenciado que existe, inclusive, um pólo de convergência situado no pólo temporal (Figura 12) que integra diferentes características de um evento.

Figura 12 – Córtex temporal anterior como polo de convergência (hub), das informações relativas a uma cena ou evento de memória, que seriam aí reunidas para a sua apresentação à consciência



Aplicando na educação, Cosenza e Guerra (2011) defendem que a ativação de múltiplas redes neurais com associações estabelecidas entre si podem ser estimuladas por meio de estratégias pedagógicas que façam uso de recursos multissensoriais.

Nesse sentido, como as estratégias didáticas podem influenciar o estado interno do sujeito, tais como a emoção, atenção, motivação? Sob quais circunstâncias se pretende que o aluno aprenda? Como as estratégias se relacionam com o meio (recursos físicos) e com os objetivos de aprendizagem?

Evidentemente, não se consegue aprender algo sem focar a atenção para o que se pretende armazenar na memória. Acontece que a função cognitiva “atenção” tem seus mecanismos próprios, mas integrados com áreas reguladoras da emoção

e memória. O próximo tópico aborda alguns elementos importantes da atenção e sua aplicação na sala de aula.

3.1.3 O papel da atenção na formação da MLP

A palavra atenção é cotidianamente expressada no contexto escolar, mas embora tenhamos consciência do seu significado prático, poucos sabem das limitações dos processos mentais envolvidos no ato de focalizar a atenção e como o conhecimento dessas podem contribuir para melhorar o desempenho dos estudantes, por exemplo. Num dado cenário, o foco duradouro em uma tarefa em detrimento de outras se dá graças à capacidade cerebral de se ajustar cognitivamente, permitindo o sujeito direcionar a atenção a um alvo de forma seletiva e concentrada.

O presente tópico tornará como foco algumas abordagens do fenômeno da atenção. De acordo com Lent (2010), as investigações dessa linha procuram explicar, principalmente, como ocorre a seletividade de eventos percebidos e os mecanismos neurais envolvidos.

Em 1890, William James definiu a atenção como um processo mental que torna claro e vivo um evento específico dentro de uma gama de possibilidades. Quanto à atenção ele acrescenta: “focalização, concentração da consciência são sua essência. Isso implica a retirada de algumas coisas de forma a lidar efetivamente com outras, e é uma condição que é oposta ao estado confuso, aturdido, dispersivo...” (JAMES, 1890 *apud* GAZZANIGA *et al.*, 2006, p. 263).

Segundo Gazzaniga *et al.* (2006), as observações de James já contemplavam as bases que hoje os cientistas tentam aprofundar com a ajuda da tecnologia: aspectos voluntários da atenção; incapacidade de prestar atenção a muitas coisas ao mesmo tempo; capacidade limitada da atenção.

A partir da metade do século XX surgiram diversos modelos explicativos da atenção, como o efeito *cocktail party* introduzido por Cherry para explicar a nossa capacidade de selecionar estímulos específicos em meio a um turbilhão de informações como ruídos, conversas, músicas. Outro modelo partiu das concepções de “filtro” de Broadbent (1958), em que os estímulos externos passam por um processamento de informação e são canalizados de forma seletiva através de um

filtro que deixa passar e torna consciente somente o que foi foco da atenção. Broadbent concluiu que nós prestamos atenção somente em um canal (evento) por vez.

A atenção seletiva foi descrita detalhadamente em 1994, por Posner e Raichle, quando verificaram a coexistência do processo explícito (automático) e implícito (voluntário) em estímulos atencionais de caráter visuoespacial (FIORI, 2008).

A partir de 1990 o desenvolvimento das tecnologias de neuroimagem tornou possível a pesquisa de mecanismos psicológicos no nível celular e neural, permitindo o conhecimento de complexos processos mentais do cérebro.

Existem mecanismos que selecionam e permitem o cérebro processar as informações mais relevantes. Segundo Gazzaniga e associados (2006, p. 265), “a atenção é um mecanismo cerebral cognitivo que possibilita alguém processar informações, pensamentos ou ações relevantes, enquanto ignora outros irrelevantes ou dispersivos”. Nesse sentido, a atenção é compreendida basicamente como o processo de focalização da consciência em uma única tarefa. “É natural intuir que essa ação focalizadora só se torna possível porque conseguimos sensibilizar seletivamente um conjunto de neurônios de certas regiões cerebrais que executam a tarefa principal, inibindo as demais” (LENT, 2010, p. 631).

A neurociência cognitiva se dedica a responder questões que surgem a partir de constatações das psicologias experimental e cognitiva, visando esclarecer seus aspectos neurofisiológicos. Por exemplo, estudos comportamentais levaram à divisão da atenção em duas grandes categorias: atenção voluntária e atenção reflexa. Mas quais são os processos cerebrais envolvidos em cada tipo de atenção? E se considerarmos alguns subtipos de atenção como a dividida e concentrada, de que forma elas estão relacionadas? São dessas questões que a neurociência cognitiva trata.

O conhecimento da neurofisiologia da atenção humana se dá através de métodos não invasivos – como eletroencefalograma e neuroimagem funcional – para a medição de atividades cerebrais e suas relações com os processos mentais. Esses exames possibilitam a ampliação dos conhecimentos já instituídos.

Cosenza e Guerra (2011) salientam que a atenção pode ser descrita em duas formas gerais: a atenção reflexa e a atenção voluntária. A reflexa faz referência a estímulos sensoriais internos e externos, captando a atenção de forma inesperada. Um exemplo é quando um aluno se levanta durante a explicação do professor e todos os outros direcionam o olhar para ele automaticamente. A voluntária está relacionada com a capacidade do indivíduo em prestar atenção em algo de forma intencional. Os processos mentais são regulados de modo que o indivíduo perceba e até raciocine sobre o evento foco da atenção. Quando um aluno decide focalizar na explicação do professor ele mobiliza suas funções cerebrais com o objetivo de reter as informações, seja por um curto ou longo prazo.

Basicamente, o lobo parietal é a região responsável pelo controle da atenção. Outras regiões também fazem relação direta com a atenção, são eles: o núcleo pulvinar do tálamo (responde às mudanças de cor, movimento e orientação) e colículo superior do mesencéfalo (participa na focalização de um alvo) (GAZZANIGA *et al.*, 2006).

Relativamente às funções do lobo parietal – também envolvido nas representações espaciais – há o que podemos chamar de circuito orientador, regiões corticais e subcorticais que atuam no controle da orientação voluntária relacionada a locais (GAZZANIGA *et al.*, 2006). Quanto ao circuito executivo, relacionado ao lobo frontal e às chamadas funções executivas, Cosenza e Guerra (2011, p. 45) afirmam que esse sistema “permite que se mantenha a atenção de forma prolongada, ao mesmo tempo em que são inibidos os estímulos distraidores”.

A Figura 13 resume conceitos discutidos sobre a função cognitiva “atenção”:

Figura 13 – Mapa mental sobre atenção



Fonte: O autor (2018).

Considerando a natureza da sobrevivência humana, o cérebro está sempre propício ao novo, à adaptação, à aprendizagem. Mas está disposto a fazê-lo para aquilo que reconheça como significante. Afinal, ele só se ocupará com algo que faça sentido ou seja necessário à sua sobrevivência. Portanto, o primeiro passo para estimular a aprendizagem do estudante é fazê-lo se interessar, focalizar, engajar em atividades que façam parte do seu mundo, num primeiro momento real, material, para então ir a caminho do abstrato e imaginário. Assim é possível sensibilizar seletivamente um conjunto de neurônios das regiões cerebrais responsáveis pela atenção seletiva e concentrada.

Segundo Cosenza e Guerra (2011), isso é possível quando se recorre aos conhecimentos prévios dos estudantes. É importante particionar as aulas em intervalos para momentos de dinâmica, humor, lanche, pois o cérebro humano não consegue apreender todas as informações veiculadas por um único canal por um tempo prolongado.

Nesse sentido, em consideração às dificuldades de aprendizagem, o modelo teórico da atenção pode ser a porta de entrada para a compreensão dos fenômenos de aprendizagem, uma vez que a atenção é a função cognitiva responsável pela filtração do conteúdo significante, o qual pode ou não se constituir em memória de longo prazo. A identificação de estratégias para a captação da atenção e seu prolongamento é também uma questão de discussão neste trabalho.

Diante desse contexto, como o conhecimento do funcionamento da atenção pode contribuir para a elaboração de sequências didáticas para o ensino de química?

Antes de aplicar uma SD é importante levar em consideração as variáveis internas e externas do sujeito. O modelo teórico por trás de cada prática pedagógica precisa dar suporte à elaboração, aplicação, controle e avaliação das atividades de onde se pretende alcançar os objetivos curriculares.

Tomando o tema “geometria molecular” como exemplo, as principais dificuldades de aprendizagem estão relacionadas à deficiência de conhecimentos prévios e limitações do raciocínio abstrato dos estudantes quanto aos níveis de representação em química. Nesse sentido, adequar uma atividade às especificidades do conteúdo requer uma articulação entre os saberes pedagógicos e disciplinares para substanciar o percurso metodológico.

Embora os resultados experimentais da neurociência cognitiva aplicada à educação ainda não tenham sido consolidados em forma de modelos teóricos específicos para aplicação em sala de aula, recursos didáticos e práticas de ensino têm sido planejados com base em estudos neurocognitivos. Nesse sentido, é possível realizar articulações teóricas para tentar minimizar os problemas de dificuldade em química.

No caso da introdução do conteúdo de GM, o professor pode considerar os conhecimentos do funcionamento da atenção para abrir espaço ao desenvolvimento de habilidades do raciocínio abstrato e da aprendizagem.

Cabe ainda ressaltar as funções executivas, responsáveis pela regulação do processamento da informação pelo cérebro (GAZZANIGA *et al.*, 2006). As regiões cerebrais mais envolvidas em atividades de planejamento e tomada de decisões compreendem o córtex pré-frontal, que por sua vez integra sistemas executivos associados ao funcionamento da memória de trabalho e da atenção.

Uma propriedade interessante do córtex pré-frontal tem a ver com o gerenciamento e seleção de informações relevantes para atingir um determinado objetivo. Isso quer dizer que tanto as porções laterais do córtex pré-frontal, associadas ao armazenamento temporário de representações, quanto o cíngulo anterior responsável pela coordenação de sistemas atencionais estão incumbidos

pelo processamento e integração das informações recebidas ao longo do córtex cerebral (GAZZANIGA *et al.*, 2006).

Vale destacar que a maturação das funções executivas ocorre continuamente, desde o nascimento, e dependente das experiências vividas pelo indivíduo, podendo estar em sua plenitude nos estágios finais da adolescência. Nesse sentido, a inserção do aluno num ambiente favorável à maturação das funções executivas é parte essencial do seu processo de aprendizagem.

Cosenza e Guerra (2011) sugerem algumas condições para que o cérebro receba e processe efetivamente os conteúdos. Tais sugestões foram organizadas no Quadro 4 e fazem parte do conjunto de quadros de referência que justifica a escolha, experimentação e avaliação da SD descrita na metodologia da presente pesquisa.

Quadro 4 – Marcadores macrodidáticos que consideram estratégias pedagógicas baseadas nos conhecimentos dos fenômenos da atenção, emoção e memória e suas relações com a aprendizagem escolar

Marcador	Funções cognitivas enfatizadas	Ação
EAM1	Emoção, Atenção, Memória	Existência de significado: estabelecimento de relações com o cotidiano.
EAM2		Envolvimento em atividades práticas: interação entre os alunos.
EAM3		Estabelecimento de metas.
EAM4		Organização do ambiente: eliminar estímulos distratores.
EAM5		Uso da novidade e do contraste para a captura da atenção.

Fonte: O autor (2018). Ações adaptadas de Cosenza e Guerra (2011).

As ações do Quadro 4 estão relacionadas com fatores que são presumivelmente fundamentais para uma aprendizagem duradoura baseada no funcionamento cerebral. Nota-se que as funções cognitivas emoção, atenção e memória estão dimensionadas com vistas ao desenvolvimento das funções executivas.

Existem pesquisas de áreas diversas que se debruçam sobre questões pedagógicas sob diferentes ângulos, o que tem permitido educadores tecer relações entre os achados de diferentes níveis de pesquisa para a elucidação de problemas específicos. Algumas dessas relações são abordadas no tópico seguinte.

3.2 A conexão entre Psicologia Cognitiva, Educação e Neurociência Cognitiva: implicações para o ensino e aprendizagem de geometria molecular

É consensual que os campos da Ciência, Tecnologia, Engenharia, Matemática exigem do aluno competências representacionais necessárias para o acesso a conceitos abstratos (UTTAL *et al.*, 2013). Dentro do domínio abrangente da química, lidar coerentemente com a noção de GM, por exemplo, requisita a elaboração cognitiva conceitual mediada verbalmente, além de habilidades visuoespaciais, que nesse caso são responsáveis pela percepção e manipulação mental de objetos no espaço.

A inserção do aluno de ciência no meio acadêmico e profissional exige dele competências representacionais específicas. Em química, toda a comunidade de pesquisadores utiliza símbolos, modelos e representações tridimensionais para a comunicação de processos diversos. Além disso, para caracterizar um único conceito podem ser utilizadas mais de uma representação. Sabe-se que *experts* possuem proficiência superior em interpretação de representações se comparados com graduandos (KOZMA & RUSSELL, 2005).

Ao estudar os processos pelos quais estudantes de ciências percebem e respondem a diferentes representações visuais, Martina (2017) chegou a uma taxonomia (Quadro 5) de aprendizagem de competências representacionais. Um estudante pode adquirir fluência de interpretação em um único tipo de representação, bem como fluência para relacionar vários tipos de representações (múltipla representação). Em ambos os casos, inicialmente, o sujeito mapeia as características visuais do objeto e as relacionam com as informações relevantes para a construção do conhecimento em torno do domínio alvo. Esse processo é mais lento e requer um esforço cognitivo maior do que após a fluência (MARTINA, 2017). A fluência se dá com tempo e treino de representações variadas (WRIGHT *et al.*, 2008).

Quadro 5 – Visão geral dos processos envolvidos na aprendizagem com múltiplas representações visuais e competências resultantes

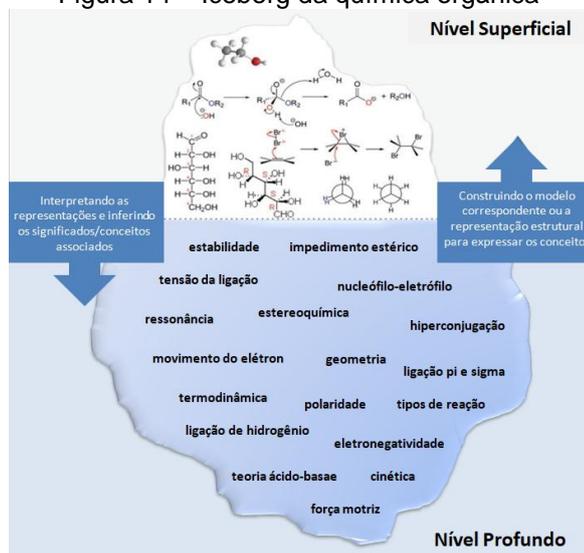
Escopo	Processo de aprendizagem representacional	Competências representacionais
Representações visuais individuais	Mediado verbalmente, processo de aprendizagem conceitual	Compreensão visual
	Não verbal, processo de aprendizagem perceptual	Fluência visual
Representações visuais múltiplas	Mediado verbalmente, processo de aprendizagem conceitual	Compreensão conexional
	Não verbal, processo de aprendizagem perceptual	Fluência conexional

Fonte: Martina (2017, tradução minha).

No que concerne à aprendizagem de geometria molecular, a aplicação de atividades com base no modelo de desenvolvimento de competências representacionais apresentado por Martina pode trazer resultados desejáveis a longo prazo. Com efeito, o estudo da GM engloba a percepção de características que podem ser encontradas em diversos tipos de representação. A geometria angular da água, por exemplo, pode ser representada bidimensionalmente ou tridimensionalmente, existindo para o último mais de uma maneira possível.

Uma única representação visual pode guardar muitos conceitos, como mostrado por Graulich (2015), que fez uma analogia (Figura 14) em que as representações visuais de moléculas constituem a ponta de um iceberg e todo o conteúdo a elas associadas estão num nível profundo.

Figura 14 – Iceberg da química orgânica



Fonte: Graulich (2015), tradução minha.

O exemplo dado pela autora se refere aos assuntos da química orgânica de nível superior, mas cujos fundamentos brotam no EM. A taxonomia apresentada por Martina (2017) não leva em consideração, pelo menos diretamente, os processos de aquisição de habilidades visuoespaciais, entendidas como a capacidade de realizar operações mentais, como a rotação mental de moléculas (HOYO & ROSA, 2017).

Tendo em vista a necessidade apontada por pesquisadores de promover atividades para o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais, procurou-se identificar elementos teóricos que subsidiem o desenvolvimento de atividades com essa finalidade. Nesse sentido, recorreu-se a evidências científicas dos campos da neurociência cognitiva, psicologia cognitiva e educação com o propósito de juntar elementos teóricos e práticos que resultem em princípios neuroeducativos para rápida implementação em sala de aula, assim como fizeram os pesquisadores do Centro de Pesquisa em Ciências da Aprendizagem (*Science of Learning Research Centre – SLRC*), sediado na Austrália.

O centro de pesquisa mencionado foi fundado em 2013 e é formado por mais de 100 neurocientistas, psicólogos e educadores de várias universidades australianas. O principal objetivo é entender como o aluno aprende e se lembra sob diferentes perspectivas para aprimorar o sistema de ensino e aprendizagem australiano.

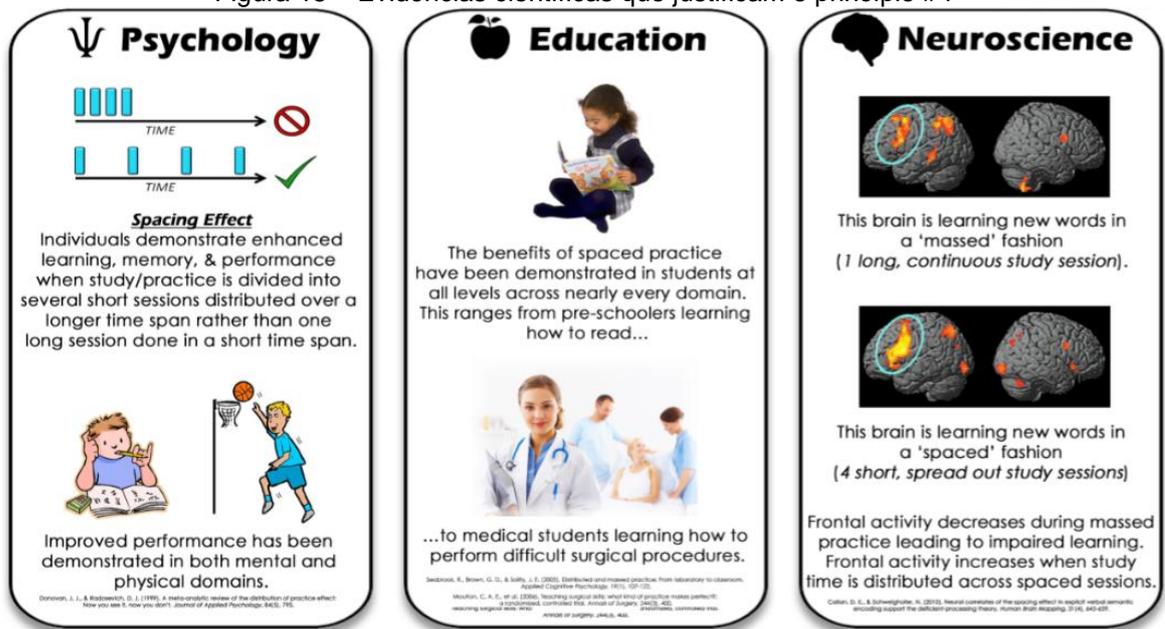
Uma das ações do grupo foi organizar uma série de 12 princípios, chamados de *PEN principles (Psychology-Education-Neuroscience)*, baseados em evidências científicas das referidas áreas. O grupo apresenta cada princípio em forma de pôster, *podcast* e vídeo com o objetivo de auxiliar professores, pais e estudantes com estratégias de aprendizagem.

A SD que será apresentada na metodologia tomou cinco *PEN principles*¹⁰ como base para o desenvolvimento de algumas etapas, mais um relacionado com rotação mental elaborado pelo próprio pesquisador, que por questão de organização será apresentado no tópico subsequente.

¹⁰ Os princípios utilizados nesta pesquisa em sua forma original e em versão traduzida/adaptada pelo autor poderão ser encontrados no Anexo A. Para mais informações e acesso a todos os *PEN Principles* acessar <https://www.slrc.org.au/resources/pen-principles/>. Cada princípio acompanha as referências bibliográficas que fundamentam as sugestões indicadas para o contexto da sala de aula. Embora a utilização do termo “cognitiva” associado às áreas “psicologia” e neurociência” tenha sido suprimida, os fundamentos utilizados em ambas as áreas são da vertente cognitiva.

Começando pelo centro australiano, o princípio #4 – *spacing-out practice enhances memory* (Figura 15) – traz a técnica da prática espaçada como uma estratégia que favorece a formação de MLP. Ao invés de estudar um conteúdo de forma massiva, sem interrupções, é mais adequado particionar as sessões de estudo. É interessante notar que a cada nova sessão o estudante precisa passar por estágios de reconsolidação de memórias para conteúdos anteriores, sugerindo que a atividade cerebral será mais intensa a cada sessão.

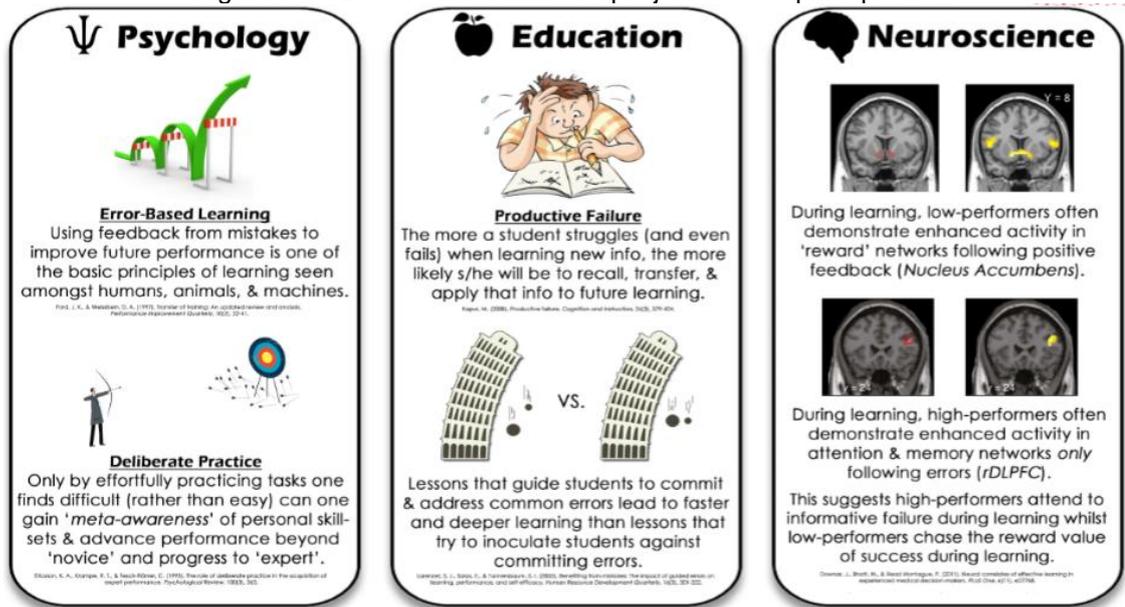
Figura 15 – Evidências científicas que justificam o princípio #4



Fonte: *Science of Learning Research Centre, Austrália* (ver Apêndice A).

O princípio #8 – *embrace error to improve learning* (Figura 16) – ressalta a importância do erro na aprendizagem, isto é, demonstra que a aprendizagem baseada no *feedback* traz bons resultados. Estudos mostram que quanto mais os estudantes sentem dificuldades na aprendizagem de novas informações mais provavelmente eles irão recordar tais informações. Na perspectiva neurocientífica, quando um aluno de baixo rendimento está aprendendo geralmente sua preocupação repousa na recompensa, enquanto que um aluno de alta performance frequentemente procura por erros em seus arquivos de memória. Isso resulta em diferentes ativações cerebrais durante a aprendizagem que visa somente o acerto e aquela que visa o erro.

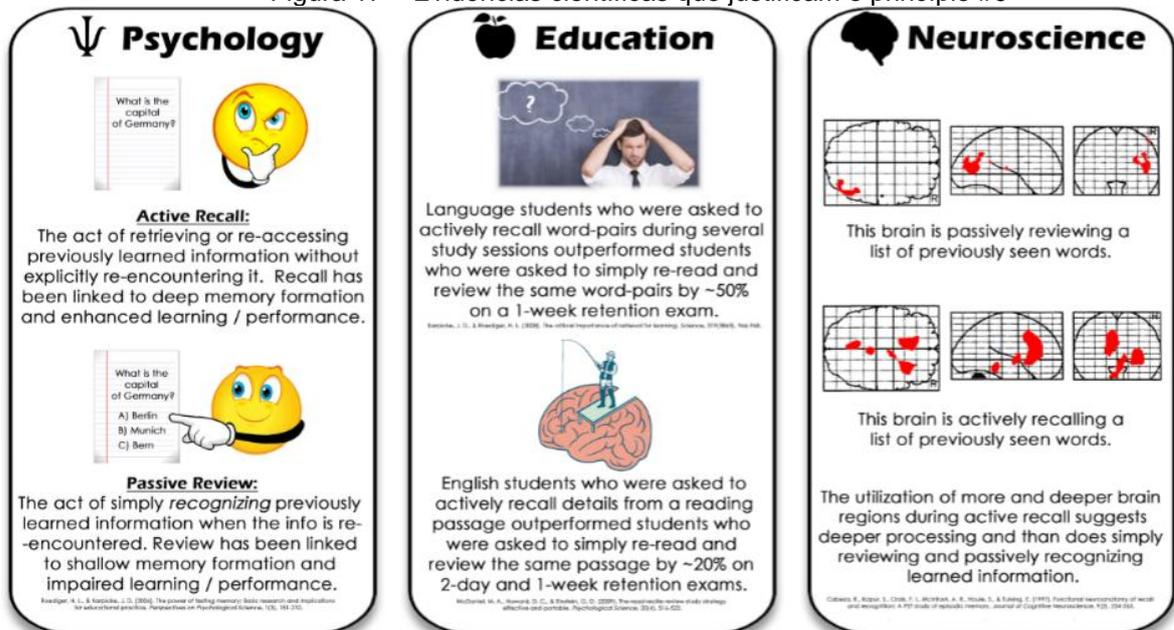
Figura 16 – Evidências científicas que justificam o princípio #8



Fonte: Science of Learning Research Centre, Austrália (ver Apêndice A).

O princípio #9 – *active recall trumps passive review* (Figura 17) – justifica a eficiência de um fenômeno chamado *testing effect* (efeito do teste) que vem sendo investigado com frequência. A memória é melhor formada quando numa revisão de conteúdo o aluno se esforça para lembrar ao máximo os detalhes.

Figura 17 – Evidências científicas que justificam o princípio #9

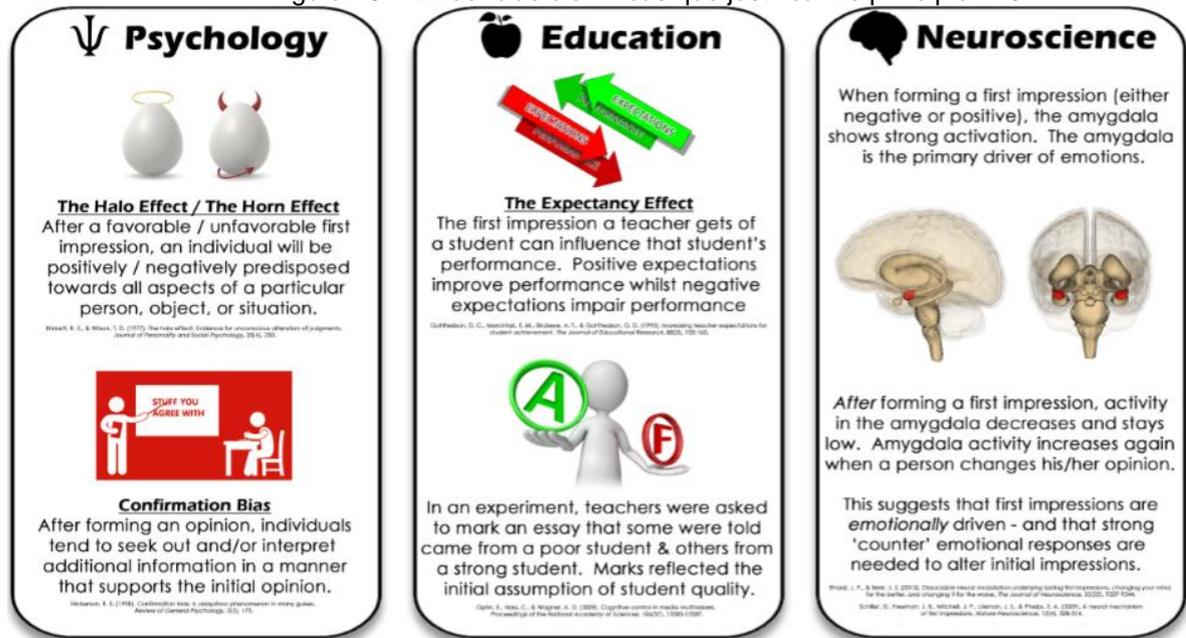


Fonte: Science of Learning Research Centre, Austrália (ver Apêndice A).

O princípio #10 – *first impressions colour future judgement* (Figura 18) – evidencia o fato de o cérebro responder às primeiras impressões e tomá-las como

referência para um futuro julgamento. O fato é que para alterar impressões iniciais a amígdala é ativada mais intensamente, sugerindo que as primeiras impressões são emocionalmente reguladas.

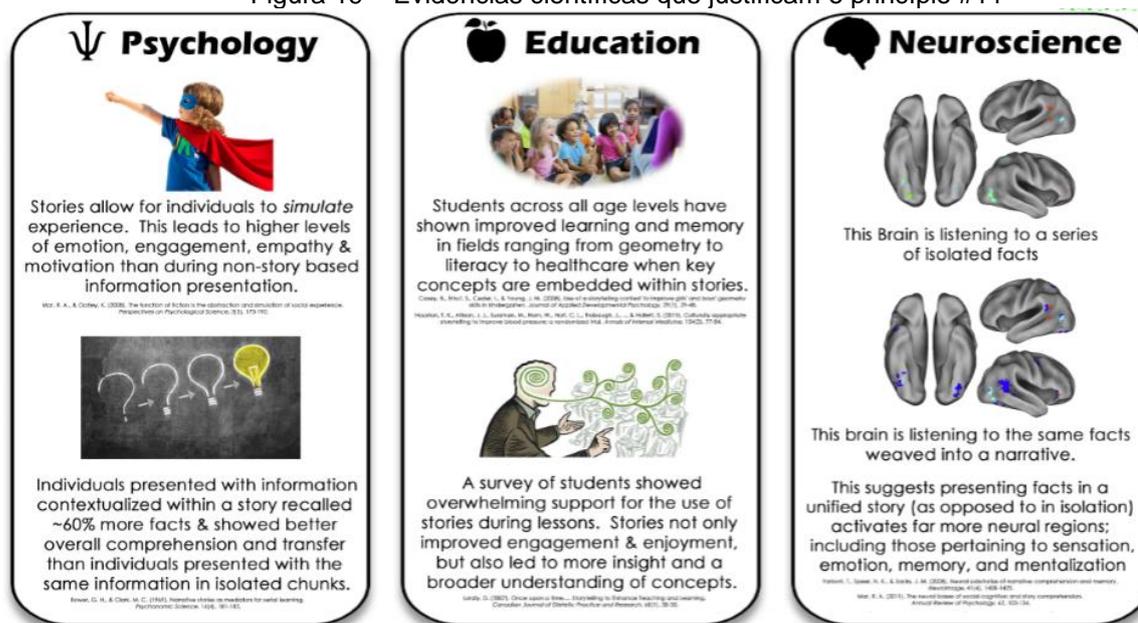
Figura 18 – Evidências científicas que justificam o princípio #10



Fonte: Science of Learning Research Centre, Austrália (ver Apêndice A).

O princípio #11 – *find the story behind the facts* (Figura 19) – atenta o leitor para o fato de que histórias podem potencializar o engajamento dos estudantes porque as regiões cerebrais envolvidas na escuta de uma narrativa incluem áreas responsáveis pela mentalização, emoção e memória. Uma boa estratégia é iniciar a aula com histórias sobre o assunto que se quer ensinar, bem como pedir aos alunos que contem suas próprias histórias que por ventura estejam relacionadas com o tema.

Figura 19 – Evidências científicas que justificam o princípio #11



Fonte: *Science of Learning Research Centre*, Austrália (ver Apêndice A).

Na sequência será apresentado o levantamento de estudos empíricos acerca do desenvolvimento de habilidades visuoespaciais que permitem justificar os recursos utilizados na SD.

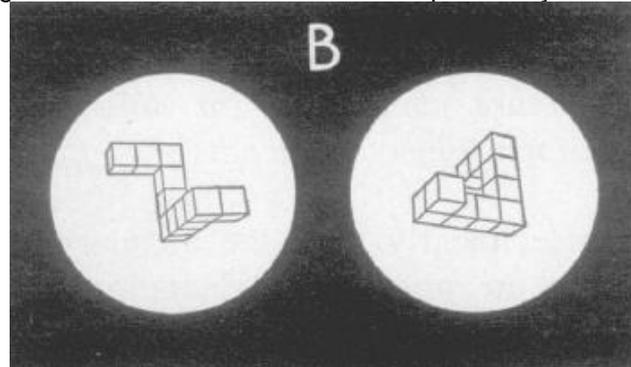
3.2.1 A rotação mental e a relação com o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais

A rotação mental é uma das habilidades cognitivas responsáveis pela capacidade de manipular mentalmente objetos bidimensionais e tridimensionais (HUANG & LIU, 2012). Pesquisadores têm revelado a importância do desenvolvimento dessa habilidade para melhor compreensão e engajamento na resolução de problemas de disciplinas oriundas das áreas de ciências, tecnologia, engenharia e matemática, pois essas ativam regiões semelhantes no cérebro.

Roger Shepard e Jacqueline Metzler (1971) foram dois dos precursores no estudo de mecanismos cognitivos em torno da capacidade do sujeito em realizar rotações mentais. Eles publicaram um estudo mostrando que existe uma correlação linear entre o tempo de resposta e o ângulo de rotação de objetos tridimensionais. No experimento, os participantes tinham que indicar se os dois objetos de diferentes ângulos mostrados ao mesmo tempo eram ou não similares (Figura 20). Em 1988, os mesmos autores também mostraram que o tipo de estímulo influencia no tempo

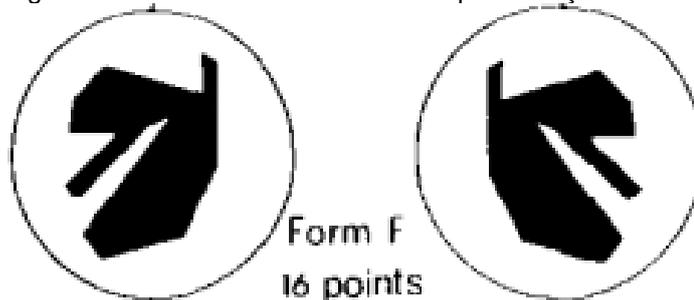
de resposta. Quando o objeto é tridimensional há um tempo maior para a codificação das informações e depois o processo de rotação se torna tão rápido quanto o é para um objeto bidimensional. Além disso, Cooper (1975) comprovou que a complexidade do objeto 2D interfere no tempo de resposta. Quanto mais pontos na figura maior a dificuldade (Figura 21).

Figura 20 – Estímulos tridimensionais para rotação mental



Fonte: Shepard e Metzler (1971).

Figura 21 – Estímulos bidimensionais para rotação mental



Fonte: Cooper (1975).

Os estudos foram direcionados para várias áreas de interesse e muitos pesquisadores se voltaram à investigação dos efeitos de habilidades visuoespaciais na educação, especialmente no campo da ciência, tecnologia, engenharia e matemática, pela associação dessas áreas com o pensamento espacial.

Um estudo conduzido por Hawes *et al.* (2015) mostrou que o desempenho de estudantes de 6-8 anos em tarefas de rotação mental aumentou depois de um treinamento de seis semanas (Figura 22). Os pesquisadores evidenciaram a transferência de habilidades para outras tarefas correlatas, mas não para a resolução de problemas matemáticos não treinados.

Figura 22 – Estímulos utilizados no treinamento de rotação mental

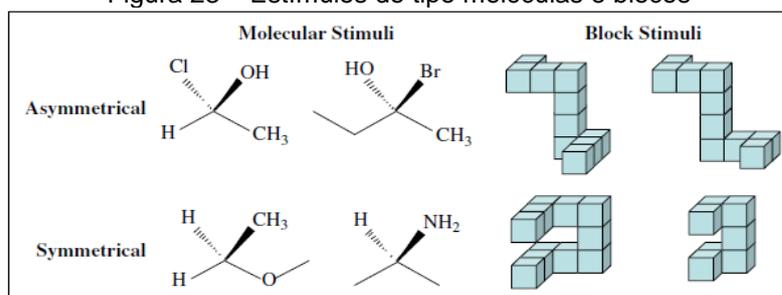


Fonte: Hawes et al. (2015).

Em outro contexto (Figura 23), Stieff (2007) investigou a utilização de estratégias de rotação mental por estudantes de química orgânica enquanto estes identificavam se dois objetos (moléculas) mostrados eram idênticos ou enantiômeros (um objeto é uma imagem especular não superponível do outro). Foi provado que os alunos de fato usam a mesma estratégia de rotação identificada no teste das formas de Shepard, em que o tempo de reação aumenta com o aumento do ângulo de rotação do objeto.

Para as representações moleculares simétricas, a maioria dos alunos utilizou estratégias analíticas, isto é, identificaram grupos iguais ligados ao carbono e responderam que as estruturas eram idênticas, não necessariamente realizando rotação mental. Já para as assimétricas os participantes utilizaram a rotação mental.

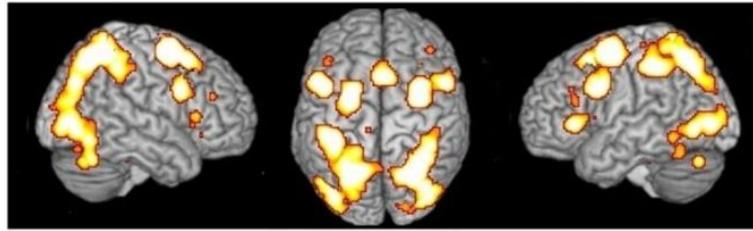
Figura 23 – Estímulos do tipo moléculas e blocos



Fonte: Stieff (2007).

Resultados de imagem de ressonância magnética (Figura 24) têm revelado que as regiões corticais ativadas durante o exercício de rotação mental – independentemente do tipo de objeto ou estratégia – são eles: lobo parietal superior e inferior (bilateral), giro pré-central esquerdo, giro frontal inferior (bilateral), giro frontal médio (bilateral), área motora suplementar, ínsula esquerda, giro occipital inferior e médio (bilateral), cerebelo (bilateral).

Figura 24 – Regiões cerebrais ativadas durante a rotação mental de objetos

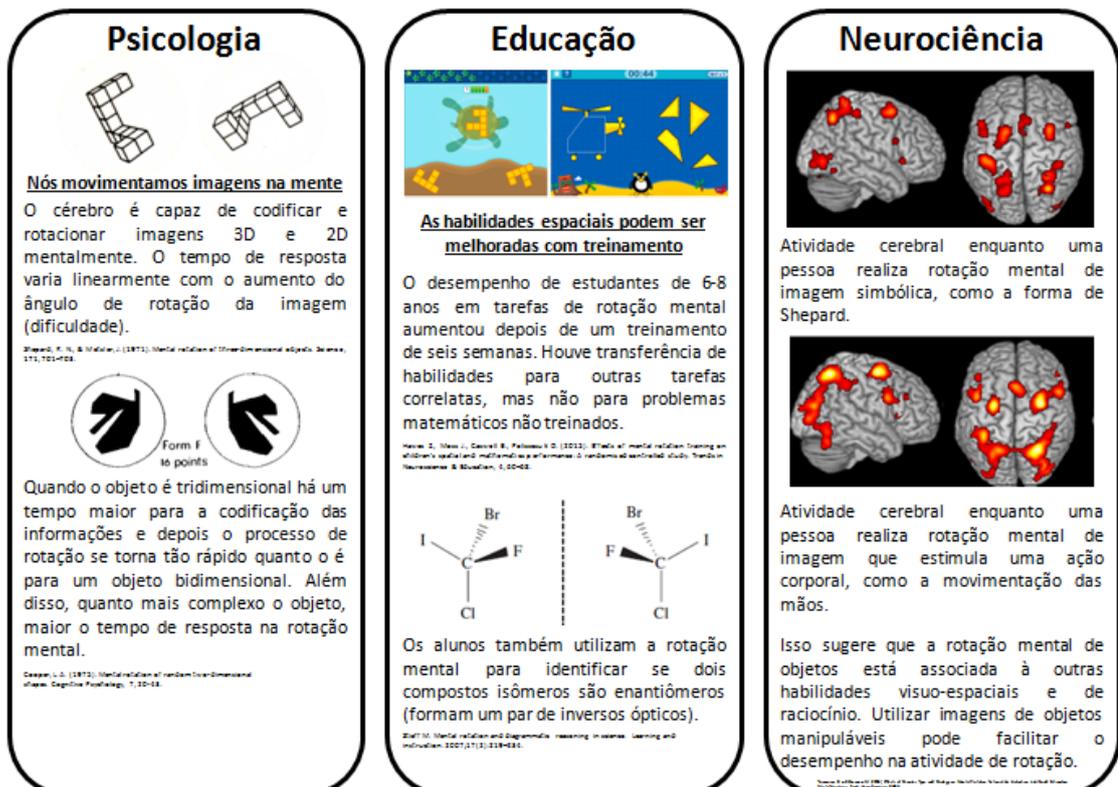


Fonte: Tomasino e Gremese (2016).

É importante salientar que outras áreas são concomitantemente ativadas devido à quantidade de operações necessárias para codificar as informações visuais, rotacionar a imagem, decidir se são idênticas ou espelho uma da outra. Foi evidenciada também a ativação de áreas sensório-motoras quando o objeto evoca um sistema em que o corpo estaria em ação caso o objeto fosse real.

Os relatos citados acima foram reunidos (Figura 25) para facilitar a apresentação dos fatos científicos que justificam a proposta de atividades pedagógicas potenciais para a aprendizagem de representações tridimensionais de química. Os resultados sugeriram o seguinte princípio de aprendizagem: “Treine rotação mental para aprimorar as habilidades espaciais”.

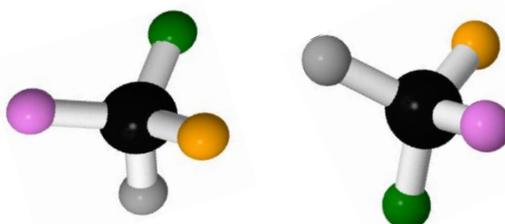
Figura 25 – Evidências científicas que justificam o princípio “Treine rotação mental para aprimorar as habilidades espaciais”



Fonte: O autor (2018).

Quanto à aplicação na sala de aula, para melhorar o pensamento espacial, o professor de química pode fazer uso de recursos físicos e estáticos (Figura 26) para a manipulação de moléculas em três dimensões. Considerando a influência do tipo de objeto e estratégia na rotação mental de objetos estáticos, sugere-se fazer exercícios de rotação mental específicos para o ensino de química, utilizando moléculas 3D impressas em papel e com ângulos de rotação variados. O objetivo é flexibilizar o pensamento espacial dos estudantes para a concepção de diferentes formas das moléculas.

Figura 26 – Representação de moléculas para rotação mental. Elas são idênticas ou enantiômeros?



Fonte: O autor (2018).

Em suma, as discussões abordadas nesse tópico permitiram categorizar os princípios apresentados em função dos objetivos didáticos visados por esta pesquisa. O Quadro 6 traz os marcadores que serão levados a cabo nos procedimentos metodológicos abordados na próxima seção.

Quadro 6 – Marcadores macrodidáticos relativos aos princípios que integram os campos da psicologia cognitiva, educação e neurociência cognitiva

Marcador	Princípio	Objetivo
P1	Múltiplas representações visuais auxiliam a aquisição de múltiplos aspectos conceituais	Dispor de mais de um meio representacional para trabalhar os mesmos conceitos, considerando as etapas para a aquisição de fluência conexional.
P2	<i>PEN Principle #4 – spacing-out practice enhances memory</i>	Particionar as sessões de estudo para melhorar a elaboração conceitual dentro de intervalos pré-definidos.
P3	<i>PEN Principle #8 – embrace error to improve learning</i>	Estimular o erro para oportunizar a elaboração conceitual de conteúdos-chave.
P4	<i>PEN Principle #9 – active recall trumps passive review</i>	Provocar a recordação de conteúdos anteriores para reconsolidar memórias de longo prazo.
P5	<i>PEN Principle #10 – first impressions colour future judgement</i>	Promover atividades prazerosas para facilitar a recordação em decorrência da associação com eventos educativos paralelos.

P6	<i>PEN Principle #11 – find the story behind the facts</i>	Potencializar o engajamento dos estudantes a partir da interação com fatos históricos associados à atividade educativa.
P7	Treine rotação mental para aprimorar as habilidades espaciais	Promover atividades de rotação mental para flexibilizar o pensamento espacial dos estudantes para a concepção de diferentes formas das moléculas.

Fonte: O autor (2018).

Nesta seção, mais dois quadros de marcadores foram gerados a partir de discussões teóricas que levam em conta fatores internos (emoção, atenção) e externos (ferramentas didáticas) para a formação da MLP. Um conjunto de evidências permite, agora, nortear a concepção de uma SD que, teoricamente, satisfaz as condições necessárias para uma aprendizagem duradoura. A próxima seção mostra o resultado de mais uma parte do trabalho de EDC conduzido por esta investigação, cujo foco foi o planejamento de sequências didáticas.

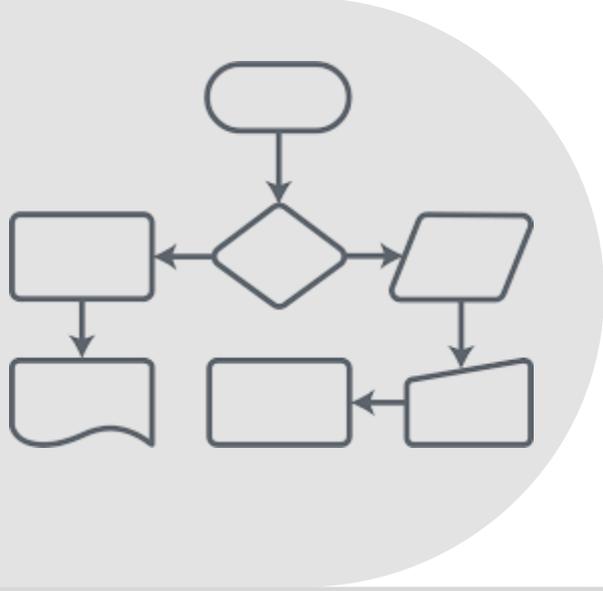
4 HIPÓTESES

Duas hipóteses gerais, nomeadamente H_1 e H_2 , foram formuladas a partir do estudo teórico propulsionado pelas duas questões norteadoras. Outras hipóteses mais específicas foram anunciadas na metodologia e foram analisadas e validadas conforme a Engenharia Didática.

H_1 – Uma sequência didática que mobilize os conhecimentos prévios dos alunos a partir de recursos físicos e virtuais pode promover a aprendizagem de Geometria Molecular, na medida em que o professor joga com os erros e dificuldades dos alunos em prol do alcance dos objetivos visados pelo ensino.

H_2 – A metodologia e recursos adotados devem ser constituídos de dispositivos contextuais que privilegiem atitudes ativas - com o máximo de envolvimento dos órgãos do sentido - para promover eventos emocionais e facilitar a evocação da memória episódica e semântica.

CONCEPÇÃO E ANÁLISE *A PRIORI*



- Desenho metodológico
- O público-alvo
- Planejamento da sequência didática

5 DESENHO METODOLÓGICO

A estratégia de investigação consistiu em seguir princípios da Engenharia Didática Clássica da francesa Michèle Artigue (1998), uma vez que esta metodologia é compatível com o objetivo deste trabalho de cunho experimental, do tipo participante e baseado em intervenções a partir de atividades didáticas. A EDC como metodologia de pesquisa¹¹ é desenvolvida em quatro fases, a saber: análise preliminar; concepção e análise *a priori* das situações didáticas; experimentação; análise *a posteriori* e validação.

Além disso, a estruturação da SD foi baseada nas fases de desenvolvimento de atividades didáticas da Teoria das Situações Didáticas (TSD) do francês Guy Brousseau (2007), embora o quadro teórico adotado para esta pesquisa tenha sido diferente, o que resultou na abordagem da TSD num nível prático de realização. Os marcadores teóricos em forma de princípios que integram evidências das áreas da psicologia cognitiva, educação e neurociência cognitiva podem ser facilmente aplicados às fases da TSD, pois enquanto a TSD formula a interação do aluno com o meio, os princípios neuroeducativos indicam os melhores recursos e estratégias a compor esse meio.

Com efeito, a TSD desenvolvida por Brousseau (1998) foi evocada pela aproximação da natureza das expectativas da presente pesquisa. Entretanto, encontrou-se no Brasil, um estudo desenvolvido por Fonseca (2011) que identificou pontos complementares entre a TSD e a EDC para fundamentar o desenvolvimento de uma SD.

Apesar dos autores desenvolverem suas concepções teóricas direcionando suas lentes para o campo da matemática escolar, verificou-se a possibilidade de aplicá-las a área de química, já que as justificativas iniciais repousaram sobre a caracterização de um processo de aprendizagem dentro de situações didáticas reprodutíveis, onde o resultado é identificado através da mudança dos níveis de aprendizagem do aluno.

Brousseau (2007) caracteriza uma relação didática como uma comunicação de informações feita a partir das relações de ensino – articulação entre o sistema

¹¹ Esta metodologia de pesquisa tem caráter qualitativo, pois ela “compreende um conjunto de diferentes técnicas interpretativas que visam a descrever e decodificar os componentes de um sistema complexo de significados” (NEVES, 1996, p.1).

educacional e o aluno –, vinculadas ao compartilhamento de um determinado conhecimento. De acordo com Brousseau (2007, p. 21), “uma situação didática é todo o contexto que cerca o aluno, nele incluídos o professor e o sistema educacional” e está configurada sob o enquadramento de quatro etapas de ensino: ação, formulação, validação e institucionalização. Tais fases precisam de fundamentos para mobilizar o interesse dos sujeitos em jogo.

A situação de ação consiste em envolver o aluno em problemas cujas soluções emergem do conhecimento a ensinar (ALMOULOU, 2007). É um processo de interação com o meio e adaptação. Nesse viés, as atividades destinadas ao professor podem ser, no primeiro momento, providas do mínimo de intervenção possível, pois almeja-se que os alunos adquiram os conhecimentos propostos a partir de sua interação com o “*milieu*” (meio), deixando a cargo do aluno as articulações com seus conhecimentos prévios para a resolução dos problemas. Nesse sentido, a fase de ação é o momento inicial de tomada de decisões, resolução de problemas, sem necessariamente partir de conhecimentos formulados. Alguns alunos podem agir de forma intuitiva ou aleatória.

A situação de formulação propicia a troca de informações, onde as atividades podem ser feitas em grupos, pois o “meio” deverá envolver, no mínimo um outro sujeito, a quem o primeiro deverá comunicar uma informação. Na visão de Brousseau (2007, p. 29), “a formulação de um conhecimento corresponderia a uma capacidade do sujeito de retomá-lo (reconhecê-lo, identificá-lo, decompô-lo e reconstruí-lo em um sistema linguístico)”.

A proposta de validação dos conhecimentos adquiridos pelos alunos pode ser feita através de uma atividade que requisita o registro de conceitos e teorias que levaram os alunos a desenvolver as atividades. As possíveis dúvidas e incoerências decorrentes das atividades da prática poderão ser elucidadas por meio da troca de mensagens entre os próprios alunos. Na situação de validação pressupõe-se que os sujeitos possuem as mesmas informações necessárias para lidar com uma questão, além disso, estes colaboram na busca do consenso (BROUSSEAU, 2007).

Por fim, propõe-se a efetivação da etapa de institucionalização no final da atividade. Ela consiste na apresentação do conteúdo pelo professor, de forma expositiva, dialogada, demonstrativa, entre outras, que deverá abordar os conteúdos

propostos no planejamento da aula de modo a aproximar as produções dos conhecimentos dos alunos aos conceitos e teorias envolvidas no assunto proposto.

Com o intento de fundamentar o conceito de Sequência Didática nas concepções francesas, Fonseca (2011) considera os pressupostos de Zabala (1998) acerca da noção em jogo, definindo-o como um encadeamento de atividades didáticas articuladas em torno de uma microengenharia didática, pois se baseia nos princípios da EDC e na TSD. É, portanto, uma alternativa metodológica de ensino de rápida implementação na sala de aula.

5.1 A análise preliminar

A análise preliminar refere-se a uma investigação prévia, onde o pesquisador faz um levantamento epistemológico e histórico, do ensino habitual e das questões institucionais que fazem do conteúdo a ser estudado um ponto de equilíbrio no sistema educacional. Além disso, revela elementos suficientes para a definição de um quadro teórico para fundamentar as estratégias a ser construídas na fase de concepção e análise *a priori*.

Nesta pesquisa, o estudo do contexto histórico foi limitado à realização de alguns procedimentos metodológicos apresentados por Brousseau (1976), cujo objetivo foi identificar obstáculos epistemológicos que podem estar, eventualmente, relacionados com dificuldades conceituais recorrentes de um dado conteúdo.

Por outro lado, o estudo do ensino habitual consistiu do levantamento bibliográfico e análise de teses e dissertações sobre a aprendizagem de geometria molecular nos últimos 10 anos. Já o estudo institucional consistiu da análise de livros didáticos do 1º ano do EM, onde foram levados em consideração os aspectos teóricos elucidados no estudo epistemológico e histórico, bem como as dificuldades dos estudantes relatados por pesquisadores.

Abrigando-se sob estas considerações, o levantamento histórico e epistemológico da noção de GM, bem como a análise do ensino habitual, permitiu limitar os objetivos didáticos da investigação ao aprimoramento conceitual das ligações químicas de Lewis e teoria da repulsão do par eletrônico por meio de situações didáticas que oportunizem a compreensão do conteúdo dentro de um contexto de aplicação. Nesse sentido, buscou-se um caminho metodológico que

sinalizasse a influência da estrutura espacial das moléculas nas propriedades físicas e químicas das substâncias estudadas.

Para verificar o impacto de vários estímulos externos na formação de memória de longo prazo, as etapas da SD dispõem de instrumentos para registro dos dados revelados pelos alunos e observados pelo pesquisador. Quanto ao desenvolvimento de habilidades visuoespaciais, considera-se a utilização de modelos físicos (bolas de isopor e varetas), tecnologia de realidade aumentada e um tipo de representação molecular que é constantemente usado nos livros didáticos: fórmula condensada (*bond line*).

As próximas discussões repousam no detalhamento das condições de realização didática dentro de um contexto específico. Nesse sentido, procura-se descrever o contexto da escola campo de pesquisa e dos alunos investigados.

5.1.1 O campo de investigação e público alvo

Quarenta alunos do 2º ano do EM de uma escola privada do Estado de Sergipe foram convidados a participar voluntariamente da pesquisa, mas obteve-se a aceitação de nove alunos (5 do sexo feminino e 4 masculino, com idades entre 16 e 17 anos), que se dispuseram a comparecer em 3 encontros, entre os meses de Maio e Junho/2017, para a realização de atividades de revisão, em horário diferente da aula regular. O pesquisador, que é professor regular da escola, pediu autorização e a coordenação declarou estar ciente dos procedimentos e objetivos da pesquisa, assinando o termo de anuência constante no Apêndice B. Foi solicitada também a apresentação de termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice A) assinado pelos responsáveis dos estudantes participantes.

A escola tem pequeno porte, funciona pela manhã com o maternal, Ensino Fundamental I e II e EM regular, sendo uma turma para cada série, bem como no turno da noite, com turmas da Educação de Jovens e Adultos e pré-vestibular. Possui 12 salas de aula, das quais 7 dispõem de recursos multimídia (datashow, notebook e quadro digital), 1 secretaria escolar, 1 sala de direção, 2 salas de coordenação, 1 cantina, 1 sala de professor, 6 banheiros, 1 pátio infantil, 1 quadra de esportes. Todas as salas de aula possuem ar condicionado e boa iluminação.

O material didático consiste em conjuntos de apostilas de um sistema de ensino consolidado nacionalmente. De acordo com o balanço do INEP¹² para o ENEM 2015, o nível socioeconômico dos alunos do EM regular é médio alto; a média nas provas objetivas nesse exame foi de aproximadamente 500, sendo a média nacional igual a 502,52.

5.1.2 Contexto inicial e perfil acadêmico dos alunos

O conteúdo a seguir não representa a descrição metodológica da Sequência Didática visada por esta investigação. É, na verdade, um relato das condições iniciais de aprendizagem dos sujeitos envolvidos registradas nas aulas de química 7 meses antes da aplicação da pesquisa propriamente dita.

Em setembro de 2016, uma turma de 45 alunos do 1º ano do EM teve o primeiro contato com a noção de geometria molecular, que requisitou conhecimentos prévios de ligações químicas e tabela periódica, assuntos devidamente ministrados em aulas anteriores.

Uma coleta inicial de dados sobre a aprendizagem de GM foi feita no curso regular das aulas, em que os alunos tiveram ao todo 6 horas/aula (Quadro 7) entre os meses de agosto e setembro de 2016. A avaliação escrita se deu em dois momentos.

Quadro 7 – Resumo das aulas sobre geometria molecular observadas nos meses de agosto, setembro e outubro de 2016

Aulas	Objetivos	Recursos	Metodologia	Avaliação
1 e 2 (08/08/2016)	Relacionar a estrutura de Lewis com a disposição espacial das moléculas.	Livro didático, datashow.	O professor revisou os conceitos de ligações covalentes para as moléculas H ₂ O, BF ₃ , NH ₃ , CH ₄ , O ₂ . Introduziu a noção de repulsão de pares de elétrons para a orientação espacial das moléculas. Em seguida mostrou as moléculas em 3 dimensões e explicou o porquê das nomenclaturas. Citou sobre ângulos, mas não os especificou.	Correção de atividades do livro didático.

¹² Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/enem-por-escola>.

3 e 4 (18/08/2016)	Construir moléculas tridimensionais para facilitar a observação de geometrias e relação com o cotidiano.	Bolas de isopor, tintas nas cores verde e vermelha para diferenciar os átomos, varetas, livro didático.	O professor explanou o processo de obtenção do ácido acético, mostrando uma garrafa de vinagre, explicando que as propriedades dessas substâncias têm a ver com a fórmula e geometria das moléculas. Depois mostrou a fórmula estrutural do ácido acético (vinagre) e pediu que os alunos se organizassem em 7 grupos de 5 para construir uma molécula por grupo. Cada grupo deveria anotar as geometrias encontradas na molécula.	Contribuições para o grupo.
5 e 6 (29/09/2016)	Revisar as ligações químicas e geometrias moleculares.	Livro didático, caderno de anotações.	O professor pediu que os alunos resolvessem 10 questões do livro, da seção de exercícios propostos. Os alunos foram aleatoriamente tirando as dúvidas com o professor. Quando a questão gerava dúvida para muitos alunos, o professor pedia a atenção e a resolvia no quadro.	Correção das atividades do livro.
Teste (03/10/2017)	Avaliar as noções de geometria molecular, partindo da estrutura de Lewis.	Questionário semi-aberto com 7 questões.	O teste durou 50 min.	x
Simulação (07/10/2017)	Avaliar a relação da geometria com a polaridade das substâncias.	Questionário de múltipla escolha com 15 questões.	O simuladão é um conjunto de 45 questões de três disciplinas e tem duração de 3 horas.	x

Fonte: O autor (2018).

Quanto à metodologia, o professor não se apropriou de alguma teoria específica, mas organizou as aulas conforme sempre faz: utiliza o *datashow* para mostrar representações 3D e a tabela periódica; utiliza materiais manipuláveis para facilitar a visualização de conceitos abstratos; faz uso constante do quadro para resolver questões e explicar teorias. Na organização do conteúdo, percebe-se que a teoria precede a prática, que precede uma revisão, cujo objetivo é consolidar o conteúdo.

No primeiro momento, os alunos demonstraram dificuldades para evocar os conhecimentos de ligações químicas a partir da interpretação da tabela periódica. No segundo momento foram registrados erros relacionados à configuração espacial das moléculas. Apenas dois grupos fizeram a correta distribuição espacial dos

átomos seguindo a teoria da repulsão eletrônica. No terceiro momento, o professor falou sobre as geometrias tetraédrica, trigonal plana, angular e pediu que os alunos corrigissem os modelos conforme as considerações apontadas.

A Figura 27 mostra um modelo molecular depois da correção, com as geometrias espaciais aproximadas.

Figura 27 – Molécula construída por um grupo de 5 alunos



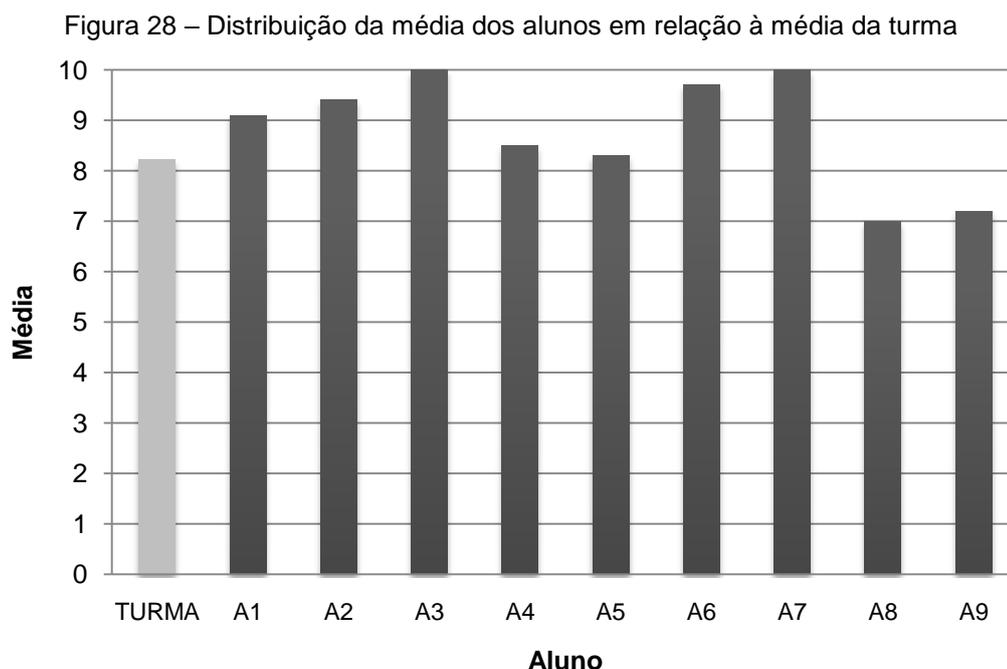
Fonte: O autor (2018).

Alguns problemas de dispersão e conversas não associadas ao trabalho não permitiram o engajamento de todos os componentes do grupo na atividade solicitada. A quantidade insuficiente de materiais para o envolvimento de mais alunos na atividade prática pode ter causado esse impasse.

O sistema de avaliação anual da escola funciona por unidades, sendo 4 unidades ao ano com duração de pouco mais de 2 meses cada. As avaliações sobre geometria molecular integraram a unidade III, que iniciou em 25/07/2016, terminou em 03/10/2016 e incluiu conteúdos de ligações químicas, geometria molecular, polaridade, interações intermoleculares, gases, estequiometria e ácidos. Especificamente para a disciplina de química, fazem parte da nota da unidade III: 2 simulados (8 questões cada), 1 simuladão (15 questões), 1 teste (7 questões). Embora o conteúdo de geometria molecular mostrado no Quadro 7 tenha sido cobrado somente no teste, todas as questões do simuladão focaram na relação entre a geometria e polaridade da molécula, o que contribuiu para a revisão do assunto. A média dos 45 alunos na referida unidade foi de 8,22. Resultado satisfatório, uma vez que a média de aprovação é 7,0 de 10,0.

Experiências do professor pesquisador com outras turmas dos anos finais do EM, que frequentemente relatam não se lembrar de conteúdos anteriores, levaram-no a pensar sobre quais elementos didáticos (recursos e estratégias) se manifestam com maior ou menor intensidade no processo de aprendizagem de GM, de modo a permanecer ou não na memória por um longo período.

Nesse sentido, acompanhar a turma desde o primeiro contato com o assunto em questão foi primordial para analisar sua evolução no que se refere à concepção de modelos moleculares tridimensionais e de conteúdos que justificam a configuração espacial das moléculas. Tal análise só foi possível para os nove alunos que se voluntariaram a participar da pesquisa em um horário diferente da aula regular. A Figura 28 mostra as médias referentes à unidade III/2016 dos nove alunos em relação à média da turma.



Fonte: O autor (2018).

Aproximadamente sete meses depois do último estudo de GM, os alunos foram submetidos a uma série de atividades que avaliaram seus conhecimentos prévios e também os efeitos das novas estratégias e recursos implementadas ao longo da investigação.

A convivência em sala de aula com os alunos durante o período anterior aos sete meses permite o pesquisador lançar a hipótese de que o desempenho na

resolução de tarefas sobre GM diminuiu ao longo do tempo. Primeiro, porque os conteúdos ministrados posteriormente não requisitaram o conhecimento da GM ou de estruturas tridimensionais, mas pelo contrário, nos livros e na própria escritura do professor quando utiliza o quadro branco as representações 3D são frequentemente substituídas por símbolos ou fórmulas estruturais. Segundo, porque de acordo com a literatura, o tipo de situação de aprendizagem à qual os alunos foram submetidos nos primeiros estudos de GM não favorece a formação MLP.

Caracterizado o contexto de desenvolvimento da pesquisa, a próxima etapa consiste em estruturar uma SD com variáveis controláveis para garantir a confiabilidade dos dados por ela gerados.

5.2 Concepção e análise *a priori*

A segunda fase faz parte da análise das condições necessárias para gerir a execução, onde são avaliadas as variáveis macrodidáticas (organização global da pesquisa) e microdidáticas (organização local da pesquisa).

É a partir dessa fase que o pesquisador buscará subsídios do quadro teórico para planejar a SD, prever sistematicamente os possíveis resultados e sugerir hipóteses para cada atividade. As variáveis didáticas devem ser definidas levando em conta as condições do ambiente e dos estudantes. Além disso, os resultados esperados precisam ser registrados para uma futura constatação e as possíveis dificuldades devem ser previstas para uma tomada de ação em caso de desequilíbrio no momento didático. Para cada sessão da sequência será gerada uma hipótese compatível com o quadro teórico que a sustentou.

A mensuração de traços da memória de longo prazo se dará a partir de registros escritos dos estudantes, uma vez que, comportamentalmente, mudanças fisiológicas cerebrais podem ser verificadas “através da aquisição de um aprendizado e da formação de uma memória” (IZQUIERDO, 2011, p. 59).

A intervenção didática se deu em três momentos, em que para cada momento prevaleceu uma situação: 1) Situação de ação; 2) Situação de formulação; 3) Situação de validação e institucionalização. Nos intervalos entre os três momentos da pesquisa foram entregues aos alunos um total de três Atividades de Rotação

Mental (ARM) para ser treinadas em casa. Houve também um quarto momento para a pós-avaliação, em que os testes aplicados no primeiro encontro foram reaplicados.

5.2.1 Análise *a priori* do primeiro momento (sessão I)

Foram objetivos do primeiro encontro (04/05/2017): 1) Avaliar os conhecimentos prévios relativos à GM; 2) Verificar o desempenho dos alunos em atividades de rotação mental; 3) Colocar os alunos em uma situação inicial de aprendizagem para a revisão dos conceitos de ligação química e GM.

Referente ao primeiro objetivo, elaborou-se um teste semiestruturado (TE1) que foi validado por dois especialistas, conforme os critérios apresentados no Apêndice C. O TE1 foi aplicado em uma turma piloto de 15 alunos do 2º período do curso de licenciatura em química da UFS (2017) com o objetivo de verificar o direcionamento das respostas e adequação quanto à clareza das perguntas.

Quanto ao segundo objetivo, decidiu-se avaliar qualitativamente o desempenho dos estudantes em atividades de rotação mental específicas para a concepção de moléculas tridimensionais. Considerou-se os estudos de rotação mental revelados na fundamentação teórica para a elaboração de uma atividade avaliativa que pode indicar traços de habilidades visuoespaciais. Para isso, utilizou-se o *software* livre “*Jmol*” para a exportação de moléculas 3D e organização do teste 2 (TE2)¹³.

O terceiro objetivo partiu da necessidade de revisão de conteúdos anteriores para garantir que os alunos adquirissem os requisitos para avançar nas atividades¹⁴. O teste 3 (TE3, Apêndice E) permitiu avaliar os erros referentes às concepções básicas de ligações químicas. A estruturação da Sequência Didática do primeiro encontro é mostrada no Quadro 8.

¹³ A elaboração de um “teste” para a avaliação de traços de habilidades visuoespaciais relativas à rotação de moléculas tridimensionais faz parte de uma investigação incipiente para auxiliar qualitativamente na análise do desempenho dos estudantes e incitar pesquisas futuras. Não se trata de um teste validado, pois não é objetivo dessa pesquisa focar nas habilidades visuoespaciais dos estudantes, mas na influência de estímulos sensoriais diversos na aprendizagem de GM como um todo. Testes de habilidades espaciais validados voltados à aprendizagem escolar podem ser encontrados no endereço do *Spatial Intelligence and Learning Center/USA*: <http://spatiallearning.org/index.php/resources/testsinstruments>.

¹⁴ Conforme será visto no quadro 8, as escolhas didáticas para a introdução do conteúdo incluíram moléculas que podem ser facilmente associadas a substâncias do cotidiano, como a cafeína e o ácido ascórbico (vitamina C). Os breves fatos históricos das moléculas escolhidas (Apêndice F) foram extraídos da obra de COUTEUR e BURRESON (2006).

Quadro 8 – Sequência Didática da sessão I

Tarefa	Objetivo	Marcador/ Princípio	Variável macrodidática	Recursos e metodologia (variável microdidática)	Hipótese	Possíveis comportamentos/ Solução
T1	Avaliar os conhecimentos prévios sobre GM, respondendo o TE1.	-	-	O teste contém questões de múltipla escolha (<i>recognition memory</i>) e subjetivas (<i>recall memory</i>). Os alunos responderão as atividades sem tempo de término definido.	Espera-se um melhor resultado nas questões de múltipla escolha.	Os alunos podem não compreender as questões/ O professor mediará no que for preciso.
T2	Avaliar o desempenho em atividades de Rotação Mental a partir do resultado do TE2.	-	-	O teste contém 10 atividades e deverá ser realizado em até 15 min. O professor mostrará um exemplo no computador e perguntará aos alunos se eles entenderam o que deverá ser feito. Explicar que a molécula pode estar rotacionada no mesmo plano ou em profundidade.	Será possível obter evidências sobre alunos que possuem e não possuem facilidade para manipular mentalmente moléculas tridimensionais.	Incompreensão do objetivo do teste/ professor explica detalhadamente.
T3	Contextualizar o ensino de geometria molecular a partir de uma situação adidática.	P5/ <i>PEN Principle #10 – first impressions colour future judgement</i> (As primeiras impressões influenciam julgamentos futuros) P6/ <i>PEN Principle #11 – find the story behind the facts</i> (Encontre a história por trás dos fatos). P1/ Múltiplas	Conversa temática com estimulação dos sentidos gustativo, olfativo e visual	a) Os alunos serão convidados a degustar 4 alimentos contendo substâncias cujas estruturas moleculares serão estudadas no decorrer da pesquisa: arroz doce + cravo da Índia (eugenol); mungunzá + canela (cinamaldeído); brigadeiro de café (cafeína); suco de laranja (ácido ascórbico). b) O professor entregará tiras de papel contendo 4 curiosidades/fatos sobre cada substância (Apêndice F) e, através de discussão coletiva, os alunos deverão relacioná-las com os alimentos correspondentes. c) Serão apresentados aos alunos 4 copos pequenos e tampados contendo 4 essências (cravo da	a) espera-se que os alunos criem memórias positivas dos eventos através da estimulação dos sentidos gustativo, olfativo e visual. b) as atividades de leitura e discussão sobre as curiosidades das moléculas propiciam o prazer, engajamento e conceptualização de tópicos através da história dos fatos. c) As informações olfativas são	a) os alunos podem não querer degustar os alimentos/ o aluno será pedido para escolher um alimento sobre o qual ele gostaria de conhecer curiosidades. b) os alunos podem não descobrir de qual alimento trata a tira de curiosidade/ o professor intervirá com dicas até que eles cheguem a uma conclusão. c) os alunos podem não conseguir

		<p>representações visuais auxiliam a aquisição de múltiplos aspectos conceituais</p> <p><i>P3/ PEN Principle #8 – embrace error to improve learning(abraçe o erro para melhorar a aprendizagem)</i></p>		<p>índia, canela, café e suco de laranja) cujas representações estruturais condensadas das moléculas principais que os constituem estão impressas na tampa. Eles deverão sentir o cheiro do produto e escolher uma molécula.</p>	<p>processadas no sistema límbico e favorecem a formação de memórias.</p>	<p>diferenciar as essências/ o professor perguntará qual foi o alimento que o aluno se interessou e indicará a respectiva molécula.</p>
T4	<p>Introduzir o tipo de representação molecular condensada e revisar conceitos de ligações químicas.</p>		<p>Trabalho de construção de moléculas em grupo. Desenvolvendo habilidades espaciais</p>	<p>Os alunos serão divididos em 4 grupos de acordo com a escolha das moléculas feita na tarefa anterior. Será entregue uma molécula (Apêndice G) para cada grupo e pedido que os alunos utilizem os materiais para montar a molécula que eles receberam. (bolas de isopor de dois tamanhos – 25 mm 35 mm –, varetas de 10 cm, tintas nas cores azul para nitrogênio, preto para carbono, vermelho para oxigênio, hidrogênio permanece branco). Informar que as bolas menores são para os hidrogênios e as maiores para o C, O e N (não haverá distinção de tamanho para esses três átomos)</p>	<p>Como os alunos não têm conhecimento das estruturas condensadas, em que carbonos e hidrogênios estão ocultos, espera-se que ao ligar os átomos, eles percebam que se fizerem conforme a molécula impressa, o modelo ficará incongruente em termos de quantidade de ligações possível dos carbonos. É de se esperar também que os alunos organizem os átomos conforme as geometrias correspondentes.</p>	<p>Alunos podem perguntar onde colocar os carbonos/ o professor poderá indicar que os carbonos estão em cada vértice da molécula. Não dar mais detalhes!</p> <p>Podem perguntar sobre as ligações tracejadas/ falar que são ligações.</p>

T5	Avaliar como os alunos entenderam a transição da fórmula condensada para a 3D. Responder o TE3.	-	-	O teste TE3 (Apêndice E) contém apenas 2 questões. Uma para verificar se os alunos consideraram os hidrogênios ocultos e outra para verificar os conhecimentos sobre ligações químicas covalentes.	<p>a) Caso a molécula tenha sido construída sem os hidrogênios, espera-se que os alunos percebam que algo está errado ao registrar na segunda questão a quantidade de ligações que cada átomo faz.</p> <p>b) Caso a molécula tenha sido construída corretamente, espera-se que eles acertem a quantidade de ligações que os átomos fazem.</p> <p>c) É possível também que mesmo com a molécula incorreta os alunos respondam a segunda questão corretamente, por constantemente ouvirem nas aulas que o carbono faz 4 ligações.</p>	Ao perceber irregularidades, os alunos podem perguntar o que fazer/ o professor não deverá dar dicas.
----	---	---	---	--	---	---

Fonte: O autor (2018).

O Quadro 9 mostra as atividades de rotação mental para ser feita em casa no período após a primeira e antes da segunda intervenção. A regra é que os alunos respondam a primeira atividade dois dias após a realização do primeiro momento, e só responda a segunda atividade dois dias após a realização da primeira atividade.

Quadro 9 – Atividade de rotação mental para ser feita em casa

Tarefa	Objetivo	Marcador/ Princípio	Variável macrodidática	Recursos e metodologia (variável microdidática)	Hipótese	Possíveis comportamentos/ Solução
T1	Treinar/ desenvolver habilidades visuoespaciais (rotação mental)	P7/ Treine rotação mental para aprimorar as habilidades espaciais	Utilização de moléculas impressas para comparação quanto à assimetria das moléculas.	Elaborou-se a ARM1 (Apêndice H) para que os alunos treinem a rotação no mesmo plano e em profundidade de moléculas 3D. Para facilitar essa tarefa inicial, um modelo físico será disponibilizado e o professor tornará clara todas as instruções.	Como não haverá limite de tempo, espera-se que os alunos treinem até conseguir 100% de desempenho.	Os alunos podem não responder a atividade em casa/ o professor entrará em contato com os alunos para se certificar de que todos farão a atividade dentro do prazo determinado.
T2	Treinar/ desenvolver habilidades visuoespaciais (rotação mental)	P2/ <i>PEN Principle</i> #4 – <i>spacing-out</i> <i>practice enhances</i> <i>memory</i> (a prática de espaçamento melhora a memória)	Utilização de moléculas impressas para comparação quanto à rotação no mesmo plano e em profundidade.	Elaborou-se a ARM2 (Apêndice H) para que os alunos treinem outro tipo de rotação. O professor deverá tornar clara a instrução para cada aluno.	Como não haverá limite de tempo, espera-se que os alunos treinem até conseguir 100% de desempenho.	Os alunos podem não responder a atividade em casa/ o professor entrará em contato com os alunos para se certificar de que todos farão a atividade dentro do prazo determinado.

Fonte: O autor (2018).

5.2.2 Análise *a priori* do segundo momento (sessão II)

Foram objetivos do segundo encontro (18/05/2017): 1) Estimular a reconsolidação de memórias do primeiro encontro quanto às ligações químicas e disposição espacial dos átomos; 2) Revisar conteúdos de ligações químicas e geometria molecular com o auxílio de um aplicativo de realidade aumentada (RA) desenvolvido para esse fim.

Elaborou-se um roteiro de atividades (RAT1, Apêndice I) destinado à coleta de informações acerca de memórias criadas do primeiro encontro – pois se pretende saber quais estímulos externos mais marcaram – e destinado à revisão de ligações químicas e geometria molecular a partir da tecnologia de RA.

Considerando a potencialidade dos recursos tecnológicos na aprendizagem de geometria molecular e compreensão visuoespacial em química, dentre as opções indicadas na literatura, não foi possível encontrar uma ferramenta que atendesse as necessidades desta pesquisa. Por exemplo, a questão do engajamento efetivo de todos os estudantes sugere a prática individual, mas na escola não há laboratório de informática. Recorreu-se então à tecnologia de realidade aumentada a partir de *smartphones*, uma vez que todos os estudantes envolvidos na pesquisa possuem tal tipo de equipamento.

Dessa vez, o problema repousou na limitação de aplicativos de realidade aumentada específicos para a aprendizagem de geometria molecular. Embora alguns aplicativos criados por autores estrangeiros, como o “*TRPEV-RA*” e “*Molecular geometry – Mirage*”, disponíveis gratuitamente na plataforma do Google (*Play Store*), sejam adequados para o trabalho com GM, um esforço maior foi empreendido para o desenvolvimento de um aplicativo próprio, tendo em vista a possibilidade de adaptação dos modelos moleculares às necessidades desta pesquisa. De forma breve, a realidade aumentada é uma tecnologia de interação virtual com o mundo real.

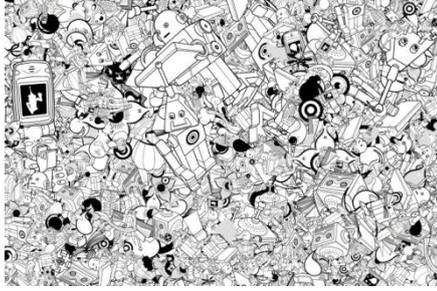
O desenvolvimento do aplicativo foi crucial para dinamizar o processo de incorporação de significado às moléculas que serviram de estímulo para a aprendizagem. A incorporação consistiu do registro das fotos de alimentos em um conjunto de programas operacionais gratuitos para o desenvolvimento de um aplicativo de celular *offline* com a tecnologia de RA. Resumidamente, ao acessar o

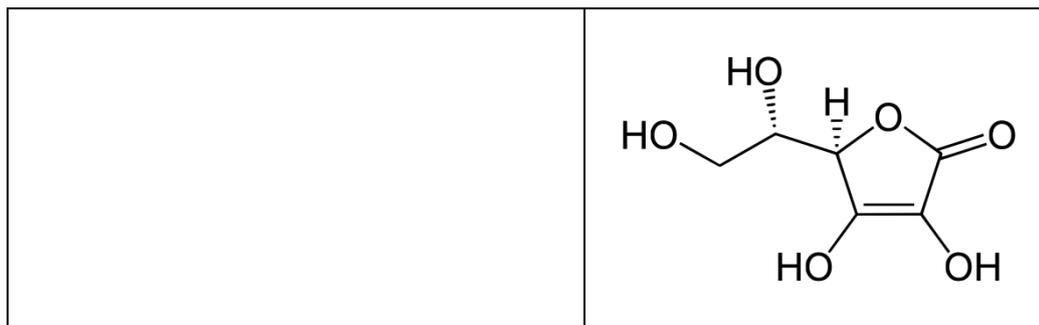
aplicativo e apontar a câmera do celular para uma figura impressa, uma molécula 3D surge em tempo real em cima do objeto pré-definido.

O aplicativo *Android* foi desenvolvido pelo próprio pesquisador através da plataforma de criação de games *Unity* e da plataforma de incorporação de códigos a imagens estáticas *Vuforia*. As moléculas na extensão OBJ foram extraídas do programa de visualização 3D *Jmol*. Após a programação, um arquivo na extensão APK foi gerado e instalado nos celulares dos estudantes sob o nome “Moléculas3D”.

Foram registrados no *software* quatro tipos de moléculas 3D (cafeína, canela, cravo e ácido ascórbico) e três imagens-alvo para cada molécula. O Quadro 10 mostra um único exemplo, os demais alvos podem ser consultados no Apêndice J. Com o aplicativo “Moléculas3D” ligado, ao apontar a câmera do celular para qualquer um dos alvos abaixo ou do Apêndice J, as moléculas programadas surgem em três dimensões, sendo possível manipular a câmera ou o objeto impresso sem que a molécula desapareça, até certas condições.

Quadro 10 – Organização das imagens-alvo para a molécula ácido ascórbico

Molécula 3D que surge na RA	Imagens-alvo relacionadas
 <p data-bbox="427 1621 778 1653">Ácido ascórbico (Vitamina C)</p>	 



Fonte: O autor (2018).

O procedimento metodológico que considerou o uso da tecnologia de RA é apresentado na Sequência Didática referente ao segundo encontro (Quadro 11).

Quadro 11 – Sequência Didática da sessão II

Tarefa	Objetivo	Marcador/ Princípio	Variável macrodidática	Descrição da atividade (variável microdidática)	Hipótese	Possíveis comportamentos/ Solução
T1	Estimular a reconsolidação de memórias do primeiro encontro associadas às ligações químicas e disposição espacial dos átomos	<p>P1/ Múltiplas representações visuais auxiliam a aquisição de múltiplos aspectos conceituais</p> <p>P4/ <i>PEN Principle #9 – active recall trumps passive review</i> (recuperação ativa triunfa revisão passiva)</p> <p>P5/ <i>PEN Principle #10 – first impressions colour future judgement</i> (as primeiras impressões influenciam julgamentos futuros)</p>	Utilização de tecnologia para a compreensão de aspectos visuoespaciais	<p>a) Iniciar a atividade falando que as tarefas deverão ser feitas com calma e com muita atenção. Conferir se todos os alunos estão portando os celulares e se estão em condições de funcionamento.</p> <p><i>PARTE A</i></p> <p>b) Pedir que liguem o aplicativo e entregar a cada aluno o RAT1 (Apêndice I) e os quatro alvos 1 (Apêndice J) para que eles façam a tarefa 1 do roteiro. Para a tarefa 2 e 3, entregar os quatro alvos 2 referentes aos alimentos. Na tarefa 4, entregar os alvos 3 e a molécula física construída no primeiro encontro. Na tarefa 5, disponibilizar bolas de isopor e varetas para que a correção da molécula seja feita. Na tarefa 6, passar pelos quatro grupos e perguntar sobre as geometrias existentes nas moléculas.</p>	<p>a) Na parte A do roteiro, tarefa 1, os alunos provavelmente sentirão dificuldades para reconhecer a molécula criada no primeiro encontro, pois na realidade aumentada a molécula apresenta os hidrogênios que estavam ocultos no momento que eles montaram. O cheiro, o sabor e a história podem ser lembrados durante a tarefa 2, então espera-se que os estudantes recriem as memórias do primeiro encontro e as associem com as novas atividades. É na tarefa 4 que os erros cometidos no primeiro encontro deverão ser identificados e corrigidos na tarefa 5. Na tarefa 6, os alunos provavelmente saberão identificar as geometrias.</p>	<p>a) O aplicativo pode não funcionar ou o celular descarregar/ o professor deverá levar um carregador universal e mais dois celulares extras com os aplicativos instalados.</p> <p>b) Na tarefa 6, os alunos podem não saber o que significa encontrar várias geometrias em única molécula/ o professor deverá explicar que o aluno precisa tomar um átomo como referência e ver a geometria em torno dele.</p>

T2	Revisar conteúdos de ligações químicas e geometria molecular com o auxílio de um aplicativo de RA			<p><i>PARTE B</i> – Na tarefa 1, entregar uma tabela periódica (Anexo B). Na tarefa 3, entregar os cinco alvos 4 contendo as estruturas moleculares de Lewis (Apêndice J). Escolher um aluno e pedir que ele fale suas previsões sobre a tarefa 4.</p>	Espera-se que os alunos não demonstrem dificuldades, uma vez que o roteiro leva o aluno passo a passo a execução das tarefas. Na tarefa 5 e 6, espera-se que o motivo indicado seja referente a repulsão dos pares eletrônicos não ligantes.	a) O aluno pode perguntar por que no BCl_3 o boro não segue a regra do octeto/ falar que é um exemplo da contração à regra do octeto.
----	---	--	--	--	--	--

Fonte: O autor (2018).

Quadro 12 – Atividade de rotação mental para ser feita em casa dois dias após a sessão II

Tarefa	Objetivo	Marcador/ Princípio	Variável macrodidática	Descrição da atividade (variável microdidática)	Hipótese	Possíveis comportamentos/ Solução
T1	Treinar/ desenvolver habilidades visuoespaciais (rotação mental)	<p>P7/ Treine rotação mental para aprimorar as habilidades espaciais</p> <p>P2/ <i>PEN Principle #4 – spacing-out practice enhances memory</i> (a prática de espaçamento melhora a memória)</p>	Utilização de moléculas impressas para comparação quanto à rotação no mesmo plano e em profundidade.	Elaborou-se a ARM3 (Apêndice H) para que os alunos treinem outro tipo de rotação. O professor deverá tornar clara a instrução para cada aluno.	Como não haverá limite de tempo, espera-se que os alunos treinem até conseguir 100% de desempenho.	Os alunos podem não responder a atividade em casa/ o professor entrará em contato com os alunos para se certificar de que todos farão a atividade dentro do prazo determinado.

Fonte: O autor (2018).

5.2.3 Análise a *priori* do terceiro momento (sessão III)

Foram objetivos do terceiro encontro (01/06/2017): 1) Estimular a reconsolidação de memórias dos conteúdos e eventos registrados nos encontros anteriores; 2) Institucionalizar a aprendizagem de GM.

Elaborou-se um roteiro de atividades (RAT2, Apêndice I) com duas partes, sendo a parte A exclusiva para o registro de memórias dos alunos e a parte B para acompanhamento da exposição do professor, conforme detalhamento no Quadro 13.

Quadro 13 – Sequência Didática da sessão III

Tarefa	Objetivo	Marcador/ Princípio	Variável macrodidática	Descrição da atividade (variável microdidática)	Hipótese	Possíveis comportamentos/ Solução
T1	Estimular a reconsolidação de memórias dos conteúdos e eventos registrados nos encontros anteriores.	P1/ Múltiplas representações visuais auxiliam a aquisição de múltiplos aspectos conceituais P4/ <i>PEN Principle #9 – active recall trumps passive review</i> (recuperação ativa triunfa revisão passiva)	Auxílio para recuperação de memórias através de questionamentos sobre os dois encontros anteriores.	a) Entregar o RAT2 (Apêndice I) para cada aluno e informar que eles deverão responder apenas a parte A. b) Explicar a segunda questão da seguinte forma: pegar uma garrafa com água e falar que a água contida na garrafa é “feita/composta” de moléculas de H ₂ O. Perguntar aos alunos o que eles entendem por essa afirmação.	a) Na questão 1, espera-se que os alunos se lembrem dos eventos (alimentos) trabalhados por eles. b) Na questão 2, espera-se que eles expressem que a água macroscópica é o resultado da interação entre muitas moléculas de água. Essa etapa levará o professor a verificar a concepção de moléculas dos estudantes.	Os alunos podem não entender as questões/ O professor deverá tirar as dúvidas de forma coletiva para que a compreensão seja uniforme.
T2	Institucionalizar a aprendizagem de GM.		Revisão dos conteúdos	A parte B do RAT2 servirá como um guia para os alunos durante a explicação do professor. a) O professor deverá falar que o objetivo do primeiro encontro foi revisar a noção de ligações químicas e introduzir uma nova representação molecular (<i>bond line</i>). Explicar que as dificuldades que eles tiveram foram intencionalmente pensadas para que pudessem resolver no segundo encontro. b) Citar os 4 alimentos trabalhados e perguntar aos alunos porque a	a) Quando perguntado sobre os alimentos, espera-se que os alunos respondam que as moléculas são diferentes. b) Espera-se que os alunos digam que o C faz quadro, o H uma, o N três e o O duas ligações. c) Espera-se que respondam	a) Os alunos podem não se lembrar dos eventos e conteúdos mencionados pelo professor/ O professor deverá se certificar de que eles entenderam após a explicação através de novas perguntas.

				<p>canela, cravo, vitamina C e café possuem sabores, odores e propriedades químicas diferentes.</p> <p>c) Explicar que isso se deve à estrutura e geometria molecular de cada molécula responsável pelas propriedades citadas.</p> <p>d) Pedir que os alunos acompanhem o roteiro e interpretem os dois tipos de representação para a mesma molécula.</p> <p>e) Explicar que a representação condensada pode vir com os carbonos e hidrogênios explícitos ou ocultos.</p> <p>f) Pedir que eles digam quantas ligações o C, O, N e H fazem em cada molécula.</p> <p>g) Perguntar por que o oxigênio tem geometria angular, o nitrogênio piramidal e o carbono tetraédrica.</p>	<p>corretamente sobre a repulsão do par eletrônico não ligante como sendo o responsável pela geometria em torno dos átomos citados.</p>	
T3	Avaliar os conhecimentos sobre GM adquiridos no decorrer da intervenção.	-	-	O teste contém questões de múltipla escolha (<i>recognition memory</i>) e subjetivas (<i>recall memory</i>). Os alunos responderão as atividades sem tempo de término definido.	Espera-se um melhor resultado nas questões de múltipla escolha e abertas.	Os alunos podem não compreender as questões/ O professor mediará no que for preciso.
T4	Avaliar o desempenho em atividades de Rotação Mental a partir do resultado do TE2.	-	-	O teste contém 10 atividades e deverá ser realizado em até 15 min.	Espera-se melhor resultado em comparação com a primeira aplicação.	Incompreensão do objetivo do teste/ professor explica detalhadamente.

Fonte: O autor (2018).

5.2.4 Considerações finais sobre a análise a *priori*

No dia 08/06/2017, uma semana após a efetivação do terceiro encontro, os alunos passaram por uma avaliação final, em que os testes TE1 e TE2 foram reaplicados, finalizando, assim, a intervenção didática.

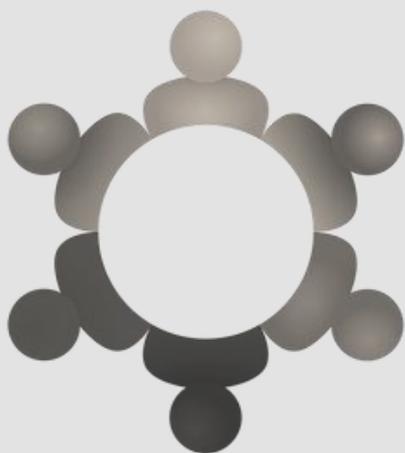
Todas as tarefas dos três encontros foram pensadas de acordo com os resultados do quadro teórico especificado na segunda seção, o que resultou nas escolhas didáticas e instrumentos de coleta de dados aqui apresentados. A Teoria das Situações Didáticas foi contemplada nessa pesquisa por compreender-se que seus pressupostos teóricos e metodológicos dialogam fundamentalmente com a metodologia de pesquisa empregada (Engenharia Didática Clássica) e também com a concepção de aprendizagem pelo viés da neurociência cognitiva.

O Quadro 14 esquematiza a organização das situações didáticas através da conexão dos campos teóricos que deram origem às escolhas metodológicas de cada etapa da sequência didática. Não foi possível destacar outros marcadores importantes, como o P2, devido à limitação das variáveis microdidáticas relativas aos principais procedimentos elencados.

Quadro 14 – Integração dos resultados da análise preliminar e fundamentação teórica que nortearam as escolhas didáticas

Situação Didática (TSD)	Marcadores Macrodidáticos Associados				Principais Ações Microdidáticas Implementadas
	Obstáculos a ser Superados	Ensino Habitual	Emoção, Atenção, Memória	Princípios de Aprendizagem	
AÇÃO Sessão I	OB4 OB6 OB7	C5 C6	EAM1	P5 P6	Degustar alimentos, sentir o cheiro das substâncias, contar estórias.
		C1 C3	EAM2	P1 P3	Construir moléculas físicas a partir de representações bidimensionais.
C5		EAM1	P4	Estimular a recordação de conteúdos a partir de eventos anteriores para reconsolidar a memória.	
C1 C5		EAM3 EAM5	P1 P5	Utilizar aplicativo de Realidade Aumentada para visualizar estruturas tridimensionais e revisar a teoria da repulsão eletrônica (VSEPR).	
C1 C3		EAM5	P4	Resolver problemas de GM a partir da elaboração de conceitos formulados.	
C3		EAM1 EAM2	P4	Revisar os conteúdos de forma dinâmica e dialogada.	
FORMULAÇÃO Sessão II					
VALIDAÇÃO Sessão II					
INSTITUCIONALIZAÇÃO Sessão III					

Fonte: O autor (2018).



EXPERIMENTAÇÃO

- Descrição dos acontecimentos da intervenção
- Principais resultados

6 EXPERIMENTAÇÃO

Esta fase da Engenharia Didática Clássica consiste na implementação da Sequência Didática e controle das variáveis definidas anteriormente. É o momento dos registros fotográficos, escritos e audiovisuais das situações presenciadas para posterior análise. Dessa forma, serão apresentados resultados gerados nas três sessões de aprendizagem.

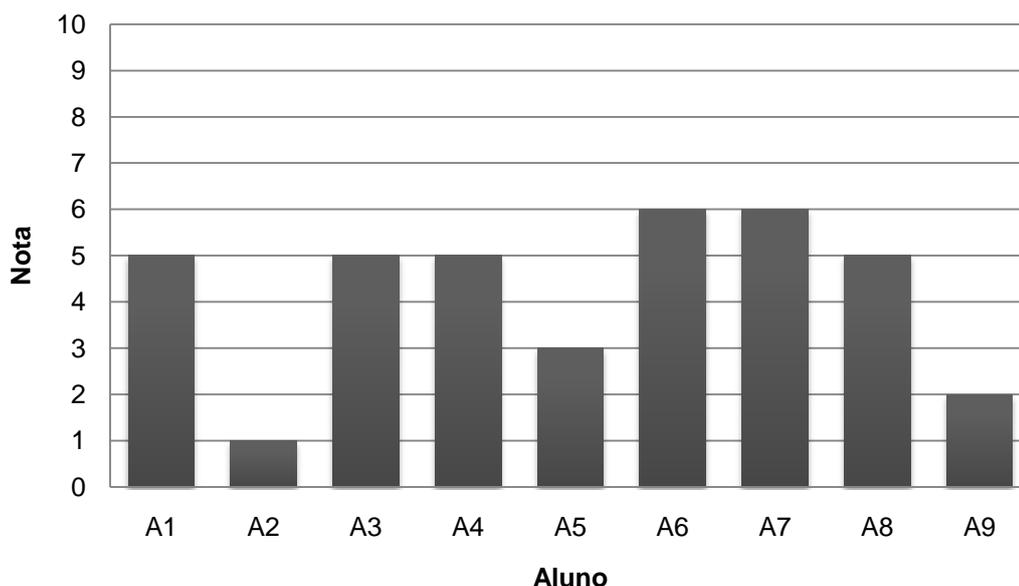
Para sumarizar os dados referentes ao pré-teste e pós-teste (TE1 – Apêndice C) será utilizada a técnica estatística descritiva – medidas de tendência central (média, moda, mediana) e medidas de variabilidade (amplitude e desvio padrão) – através do aplicativo *Microsoft Office Excel 2007*. Adicionalmente, informações do TE1 e demais formulários serão apresentadas em forma de recortes de acordo com a relevância para os objetivos desta pesquisa.

6.1 Sessão I

Inicialmente, os nove participantes responderam ao TE1 (20 min.), que avaliou seus conhecimentos prévios sobre geometria molecular. Foi atribuído o valor 1,0 para cada questão de múltipla escolha e valor 1,0 para as questões abertas (exceto para a questão aberta 4, que teve valor 2,0). Dois alunos tiveram dúvidas de interpretação da parte subjetiva das questões e o professor decidiu explicar os procedimentos corretos para resolução de todas as questões, para todos os participantes.

A Figura 29 mostra os resultados do TE1, cuja amplitude potencial é de 0,0 para 10,0.

Figura 29 – Notas dos 9 alunos obtidas no pré-teste (TE1)

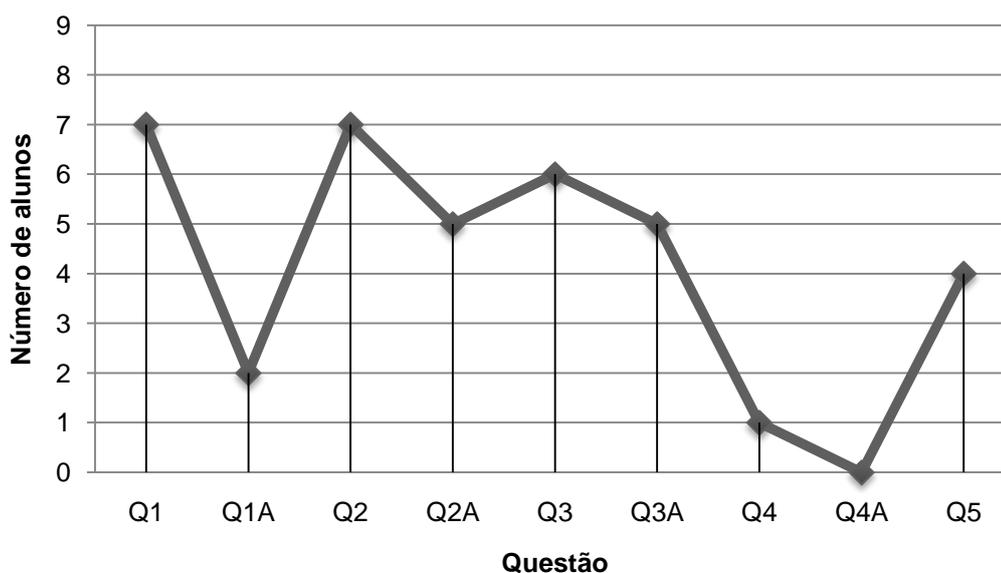


Fonte: A pesquisa (2018).

A nota média obtida no pré-teste foi de 4,2 com desvio de $\pm 1,8$. A moda e mediana foram 5,0. O valor máximo foi 6,0 e o mínimo 1,0, resultando numa amplitude igual a 5,0.

A Figura 30 mostra a frequência de acertos de cada questão.

Figura 30 – Frequência de acertos. As questões Q referem-se às de múltipla escolha, enquanto que as questões QA referem-se às abertas



Fonte: A pesquisa (2018).

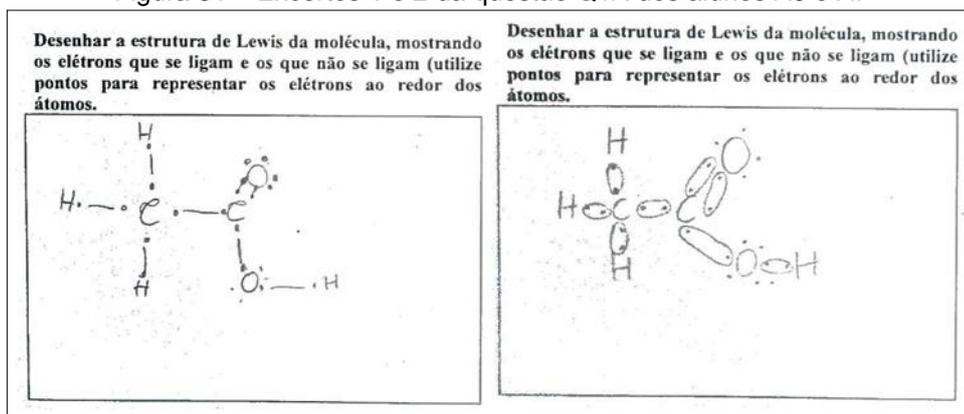
Mais de 75% dos alunos acertaram duas questões fechadas que objetivaram: identificar a habilidade de prever a disposição espacial de moléculas a partir de

fórmulas estruturais (Q1) e verificar a possível associação da fórmula molecular com o termo que descreve a geometria (Q2). Na primeira questão, apenas dois alunos responderam corretamente a parte subjetiva, que exigiu conhecimentos relativos à regra do octeto e fórmula eletrônica de Lewis. Por outro lado, apenas dois alunos que acertaram a questão de múltipla escolha (Q2) erraram a respectiva questão subjetiva (Q2A), que exigiu o registro da representação espacial das duas fórmulas moleculares apresentadas.

A quarta questão fechada (Q4) e aberta (Q4A) foram as que representaram o menor desempenho dos alunos. Esse tipo de questão requisitou conhecimentos relativos à extensão à regra do octeto, como o caso da molécula SO_3 .

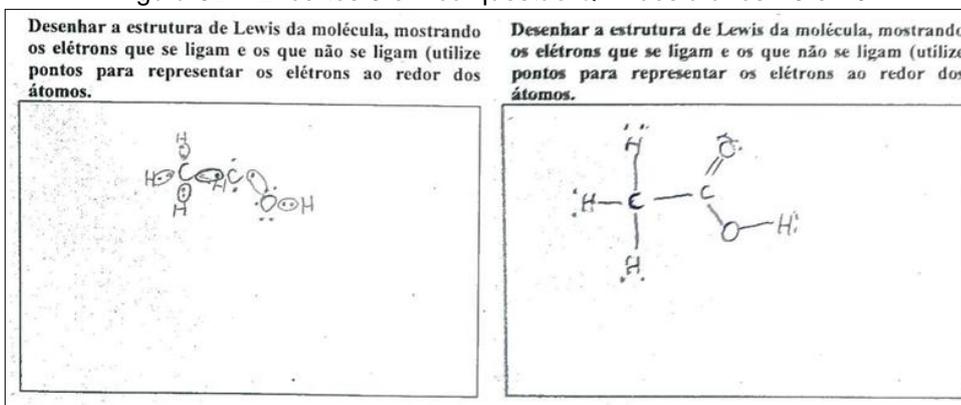
Os excertos 1 e 2 (Figura 31) mostram as duas respostas corretas da questão Q1A dos alunos A6 e A7, respectivamente. Já os excertos 3 e 4 (Figura 32), alunos A3 e A9, respectivamente, mostram os erros cometidos nessa mesma questão.

Figura 31 – Excertos 1 e 2 da questão Q1A dos alunos A6 e A7



Fonte: A pesquisa (2018).

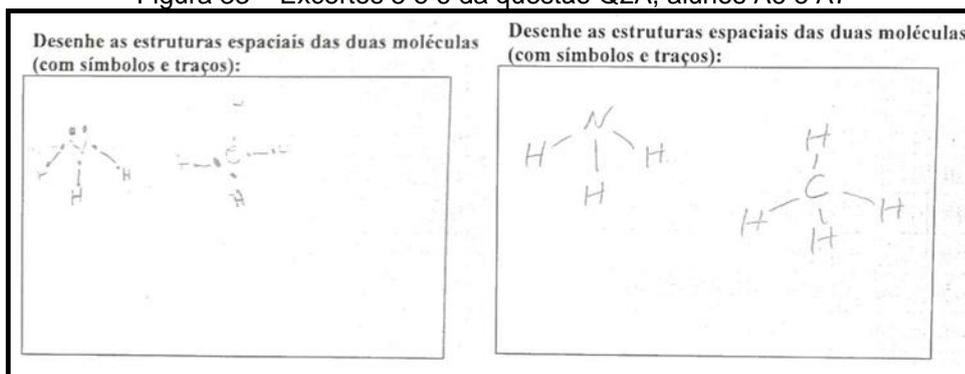
Figura 32 – Excertos 3 e 4 da questão Q1A dos alunos A3 e A9



Fonte: A pesquisa (2018).

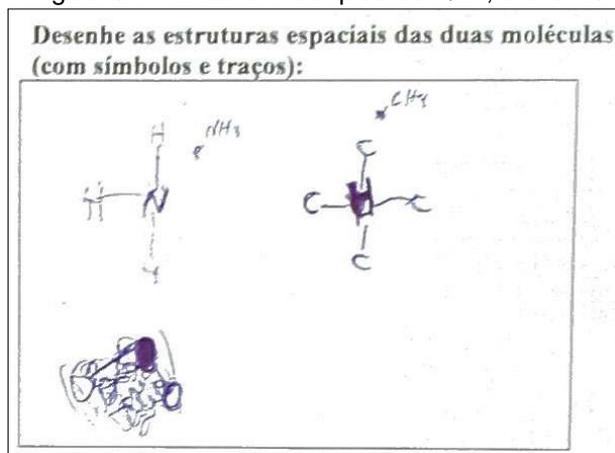
Os excertos 5 e 6 (Figura 33) mostram dois exemplos de respostas consideradas corretas e comuns da questão Q2A, dos alunos A6 e A7, respectivamente. Relativamente à questão Q2A, o excerto 7 (Figura 34), do aluno A9, revela um tipo comum de incoerência na representação escrita de alguns estudantes.

Figura 33 – Excertos 5 e 6 da questão Q2A, alunos A6 e A7



Fonte: A pesquisa (2018).

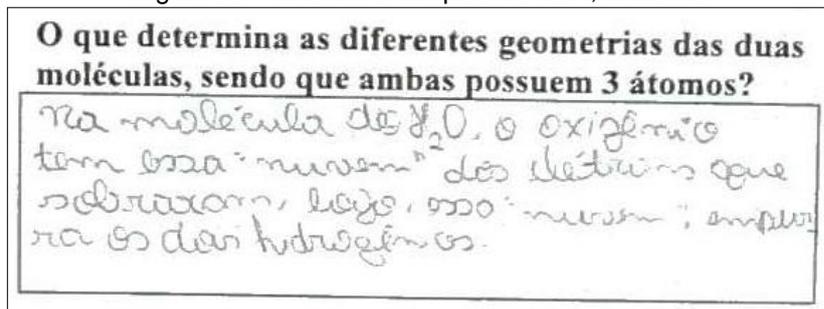
Figura 34 – Excerto 7 da questão Q2A, aluno A9



Fonte: A pesquisa (2018).

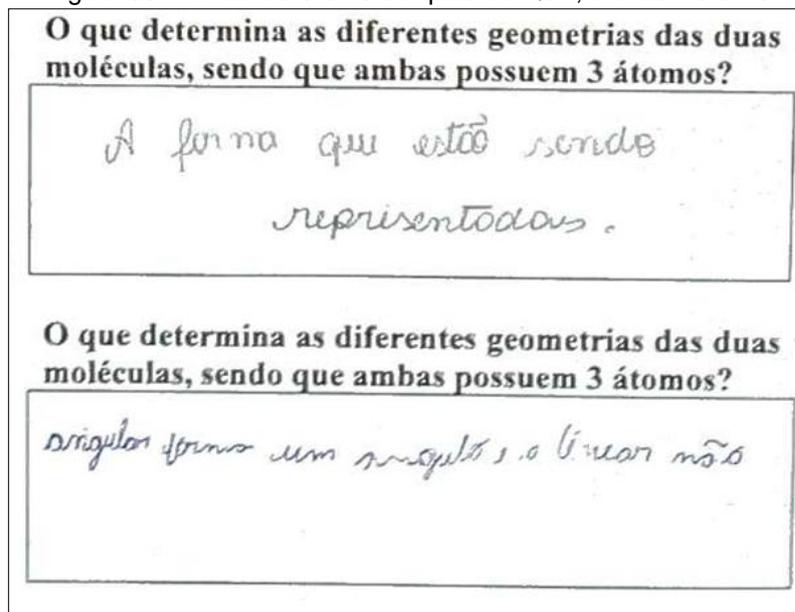
O excerto 8 (Figura 35) representa os cinco acertos da questão Q3A, pois embora alguns alunos tenham respondido de forma breve, as respostas se aproximam da noção esperada. Uma situação de interpretação errônea foi detectada a partir dos escritos dos alunos A5 e A9, excertos 9 e 10 (Figura 36), que responderam corretamente, mas não de acordo com o esperado pela pesquisa.

Figura 35 – Excerto 8 da questão Q3A, aluno A6



Fonte: A pesquisa (2018).

Figura 36 – Excertos 9 e 10 da questão Q3A, alunos A5 e A9

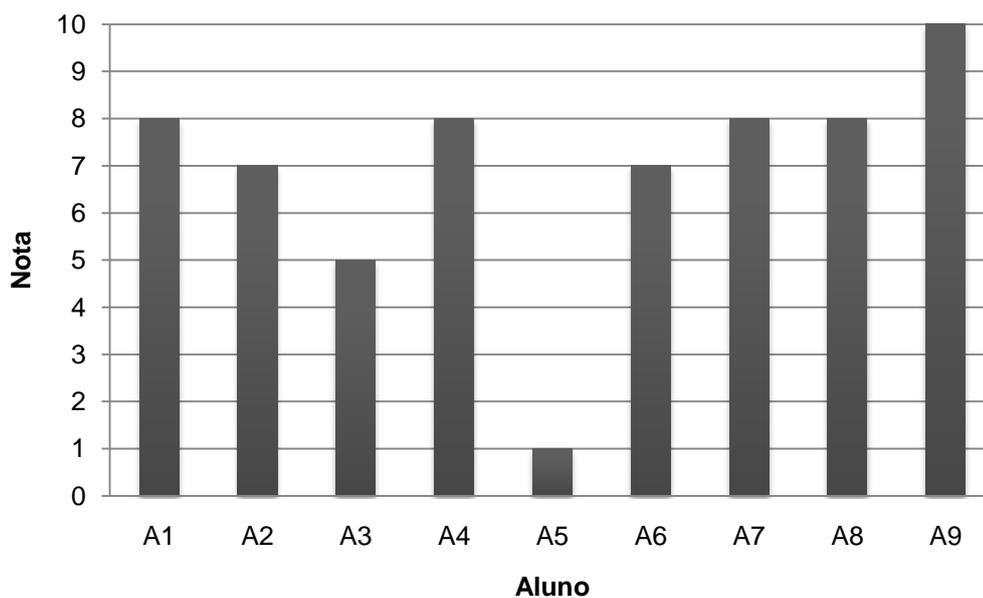


Fonte: A pesquisa (2018).

Logo após a aplicação do TE1 foi aplicado o teste de rotação mental (TE2 – Apêndice D), cujo objetivo foi verificar se o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais – como a rotação mental de objetos tridimensionais estáticos – está associado à aprendizagem de geometria molecular. Dois exemplos foram demonstrados no computador e foi perguntado se os alunos possuíam alguma dúvida quanto à realização do teste. Também foi explicado que as moléculas do teste poderiam estar rotacionadas no mesmo plano ou em profundidade.

A Figura 37 mostra o resultado do TE2, que teve média global 6,8 com desvio padrão 2,5.

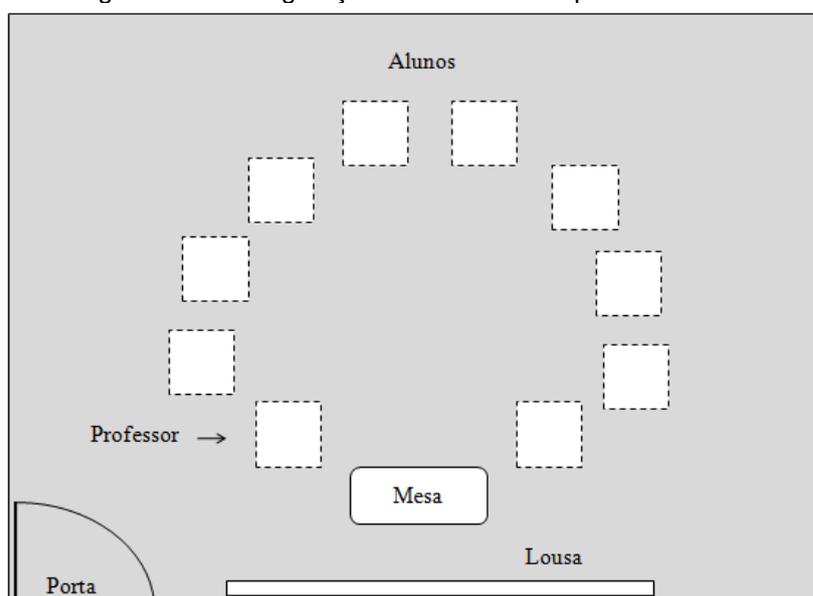
Figura 37 – Quantidade de acertos por aluno no TE2



Fonte: A pesquisa (2018).

Os participantes foram alocados em uma sala de aula e convidados a tomar assento em formato conforme representado pela Figura 38.

Figura 38 – Configuração da sala de aula para a sessão I



Fonte: O autor (2018).

Quatro produtos alimentícios para degustação foram posicionados na mesa e os alunos foram convidados a experimentar arroz doce (contendo cravo da Índia), mungunzá (contendo canela), brigadeiro de café e suco de laranja. Por questão de

preferência, alguns participantes não degustaram algum tipo de alimento e outros que provaram pela primeira vez o brigadeiro de café não apreciaram.

Em seguida, foram entregues 12 curiosidades (Apêndice F) relacionadas aos alimentos e foi solicitado que cada aluno fizesse a leitura e tentasse relacioná-la com os produtos degustados. Houve muitas dúvidas nessa etapa, principalmente porque os alunos demoraram a perceber que os fatos lidos tinham relação com alguns compostos em específico e não com o produto em si. Por exemplo, as curiosidades estavam associadas somente ao cravo da Índia contido no arroz doce, à canela contida no mungunzá, à cafeína contida no brigadeiro, à vitamina C contida no suco de laranja. Foi necessária intervenção do professor para acelerar o desenvolvimento da tarefa, tendo em vista a dificuldade dos participantes em identificar as associações corretas.

Para continuar a contextualização e dar início à organização dos grupos, os alunos sentiram os odores das quatro substâncias trabalhadas na atividade de curiosidades e cada aluno escolheu um odor de sua preferência. Cada substância estava num copo coberto com a respectiva molécula impressa na tampa (Figura 39). Foram formados quatro grupos conforme o Quadro 15.

Figura 39 – Alunos em experiência olfativa



Fonte: O autor (2018).

Quadro 15 – Divisão dos grupos

Grupo	Molécula	Alunos
G1	Cafeína	A1, A2
G2	<i>Cinnamomum</i> (canela)	A5, A8
G3	Eugenol (cravo da índia)	A3, A4, A7
G4	Ácido ascórbico (vitamina C)	A6, A9

Fonte: O autor (2018).

A cada grupo foi entregue um pedaço de papel com uma molécula impressa nele. O objetivo da próxima tarefa foi construir uma representação em 3D da molécula que lhes foi entregue utilizando bolas de isopor e palitos de churrasco (Figura 40).

Figura 40 – Alunos executando a tarefa 3 da primeira sessão



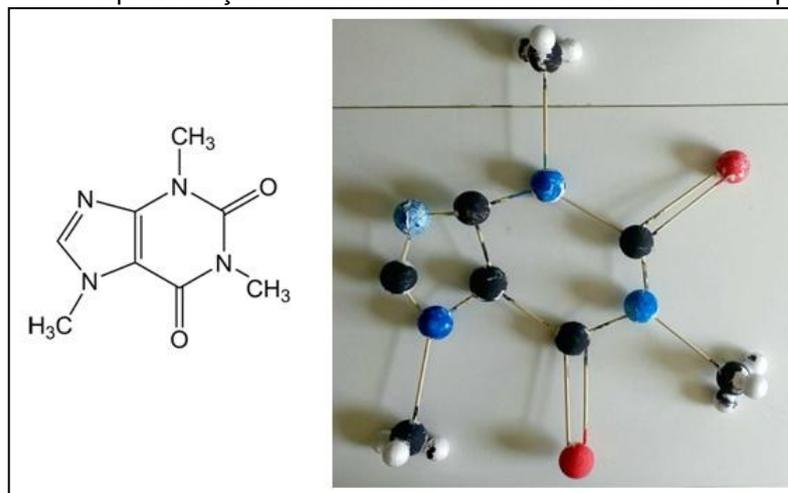
Fonte: O autor (2018).

A primeira dúvida que surgiu foi quanto à posição do carbono nas moléculas em que tal elemento estava oculto. O professor explicou que em cada vértice onde duas ou mais ligações se encontram há um átomo de carbono. Também foi explicado que o carbono deveria ser pintado de preto, o oxigênio de vermelho e o nitrogênio de azul. O grupo G4 não cumpriu a regra e pintou os carbonos de azul (Figura 41).

O grupo que recebeu o ácido ascórbico (vitamina C) perguntou sobre as linhas tracejadas, que foi esclarecido logo em seguida. Foi observado que um aluno do G1 explicou para os demais do seu grupo que os hidrogênios ligados ao carbono deveriam tomar posições de modo a ficar o mais distante possível um dos outros. De modo geral, pelo menos um aluno de cada grupo demonstrou preocupação com a correta posição dos átomos na molécula.

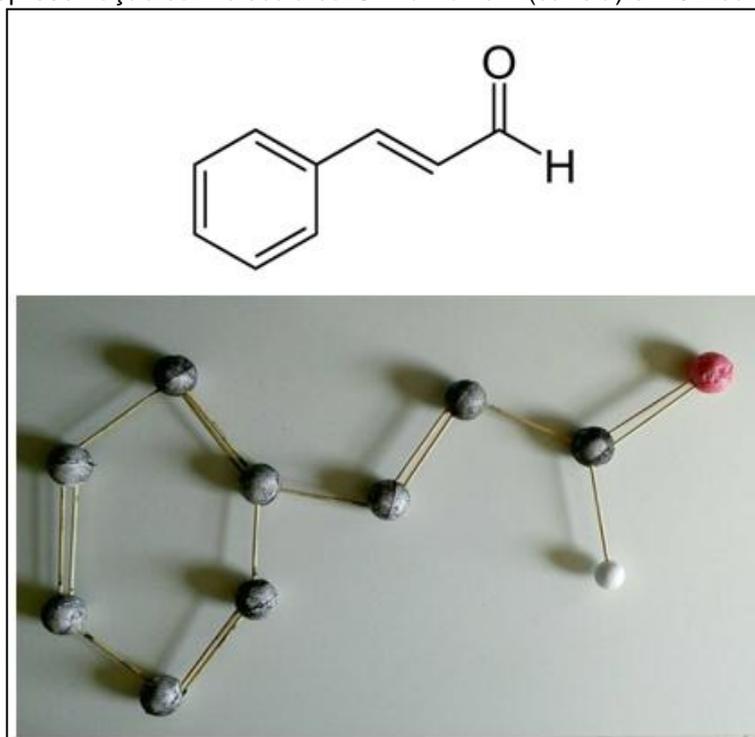
As figuras 41, 42, 43 e 44 mostram o resultado dos quatro grupos.

Figura 41 – Representação da molécula da cafeína em 3D construída pelo G1



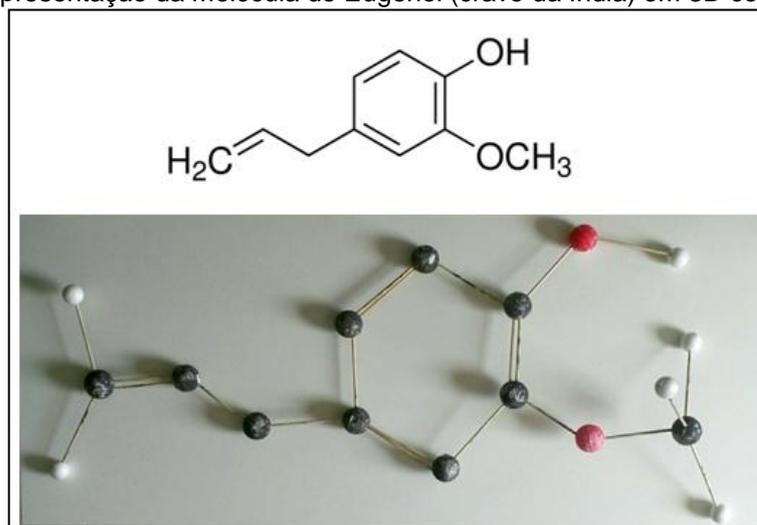
Fonte: O autor (2018).

Figura 42 – Representação da molécula da *Cinnamomum* (canela) em 3D construída pelo G2



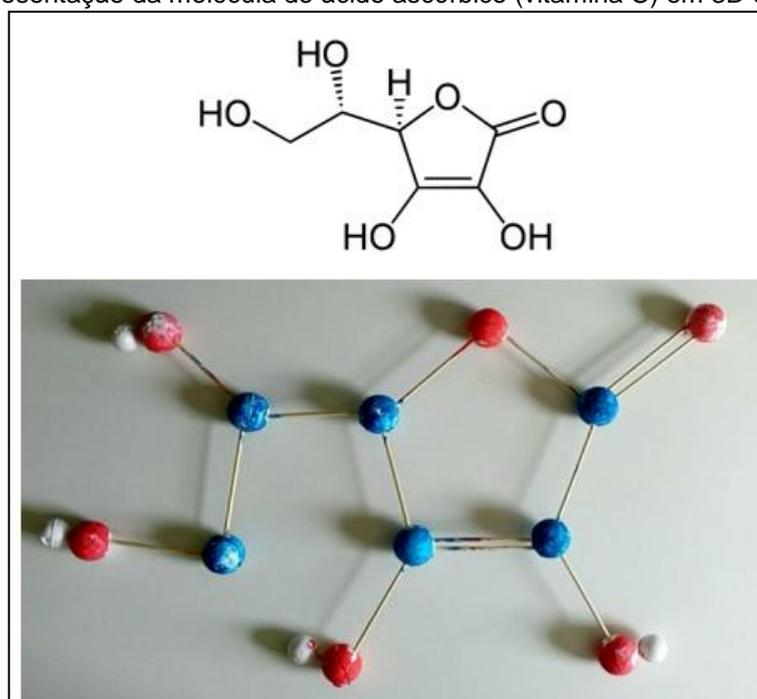
Fonte: O autor (2018).

Figura 43 – Representação da molécula do Eugenol (cravo da índia) em 3D construída pelo G3



Fonte: O autor (2018).

Figura 44 – Representação da molécula do ácido ascórbico (vitamina C) em 3D construída pelo G4



Fonte: O autor (2018).

Os resultados das moléculas da cafeína (Figura 41), canela (Figura 42) e vitamina C (Figura 44) revelam que os alunos dos respectivos grupos tentaram reproduzir em três dimensões a representação molecular estrutural, assegurando, inclusive, a semelhança das ligações químicas. Nesses casos, se a representação 2D mostrou átomos colados, como os grupos CH₃ da cafeína e OH da vitamina C, assim foi reproduzido no modelo em 3D.

Por outro lado, o grupo G3 não seguiu a tendência em representar fielmente a fórmula molecular e fez uso de ligações para separar, inclusive, os átomos agrupados. Nenhum aluno perguntou sobre as incongruências nas ligações químicas, o que fez com que os hidrogênios ocultos na fórmula molecular não fossem contemplados nos modelos tridimensionais.

A aplicação do TE3 (Apêndice E) permitiu avaliar os erros referentes às concepções básicas sobre ligações químicas. O G1 respondeu que a fórmula molecular da cafeína é $C_8H_9N_4O_2$, deixando claro que não foi percebido que havia um átomo de carbono com hibridização sp^3 – capacidade para 4 ligações simples – com apenas 3 ligações, estando um hidrogênio oculto na estrutura. A fórmula correta é $C_8H_{10}N_4O_2$. O G1 não compreendeu a segunda questão e a respondeu incorretamente.

Quando perguntado sobre a fórmula molecular da canela, a resposta do G2 desconsiderou os hidrogênios ocultos. Incoerentemente, a resposta da segunda questão está correta, já que foi respondido que o átomo de carbono faz 4 ligações, mas a estrutura montada pelos alunos não mostra essas ligações. Erros da mesma natureza foram detectados para o G3 e G4.

Com o término do TE3, a sessão foi encerrada e os alunos receberam duas atividades (ARM1 e ARM2, Apêndice H) para praticarem em casa conforme as instruções descritas no Quadro 9. As atividades em questão foram entregues ao professor no dia da segunda sessão e nenhuma dúvida foi reportada. Conforme esperado, todos os alunos responderam as atividades corretamente. A sessão durou 2h.

6.2 Sessão II

Iniciou-se o segundo encontro com uma explicação e atribuição de regras para o bom funcionamento da atividade que foi guiada pelo roteiro de atividades de realidade aumentada (RAT1, Apêndice I). O aplicativo de RA foi instalado previamente nos aparelhos celulares dos estudantes, mas no dia do evento foi necessário disponibilizar um celular para um aluno.

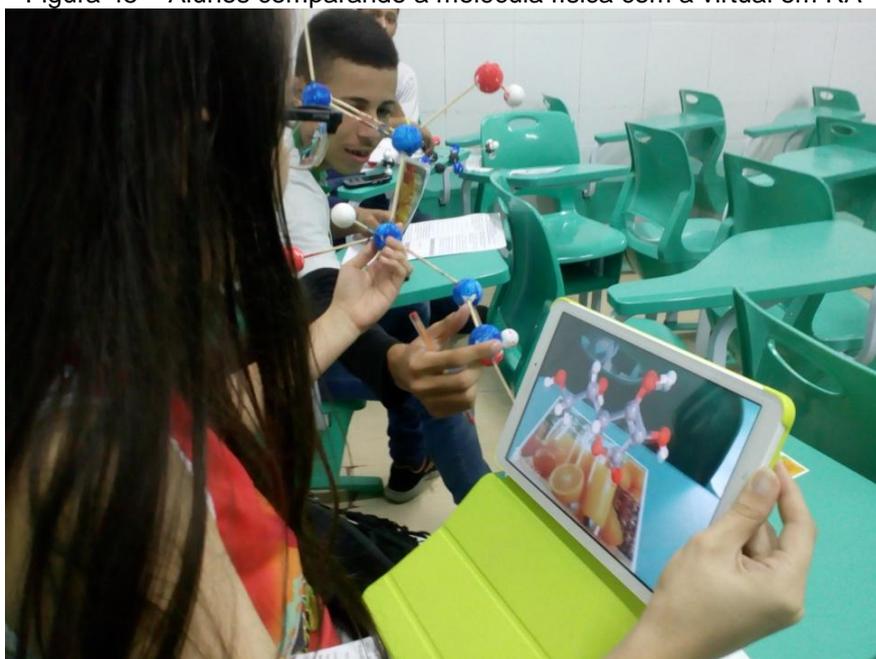
A tarefa 1 do roteiro pediu para os alunos identificarem as moléculas trabalhadas no primeiro encontro através do aplicativo de RA. As moléculas

tridimensionais em RA foram apresentadas de forma mais sofisticada e permitiram que mais de 50% dos alunos fizessem o reconhecimento através da recordação de algumas características: “os dois átomos de hidrogênio” (A7), “tem nitrogênio” (A2), “o desenho dela (da molécula)” (A1), “só tem um oxigênio” (A5), “o hexágono que forma” (A8). Nessa atividade de reconhecimento, apenas dois alunos perceberam alguma diferença significativa entre o que eles construíram e o que estavam observando na RA, como “a forma disposta e a angulação dos átomos” (A1) e “algumas ligações duplas” (A6).

Na tarefa 2, solicitou-se um detalhamento dos momentos que fizeram os alunos se lembrarem das moléculas por eles construídas. Três alunos se referiram à experiência olfativa (A1, A5, A7), dois alunos à experiência gustativa (A7, A8), e dois alunos reportaram se lembrar da imagem do cravo da Índia (A3, A4). Os demais não souberam responder.

Quando os alunos receberam os modelos moleculares físicos e compararam com os modelos em RA (Figura 45), cinco deles reconheceram que as moléculas virtuais possuíam átomos com disposições espaciais diferentes das moléculas físicas (A1, A3, A4, A7, A8). Interessantemente, nenhum aluno reportou a falta dos hidrogênios nas moléculas físicas.

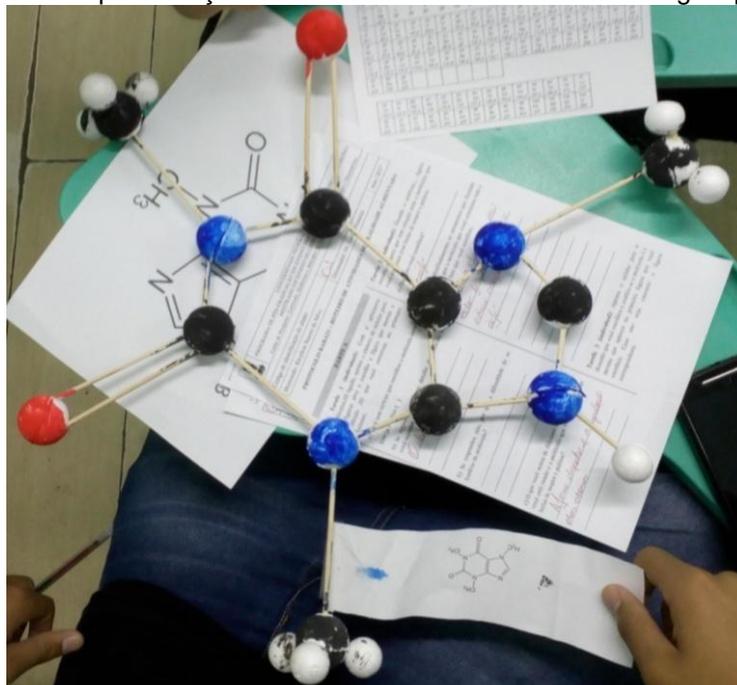
Figura 45 – Alunos comparando a molécula física com a virtual em RA



Fonte: O autor (2018).

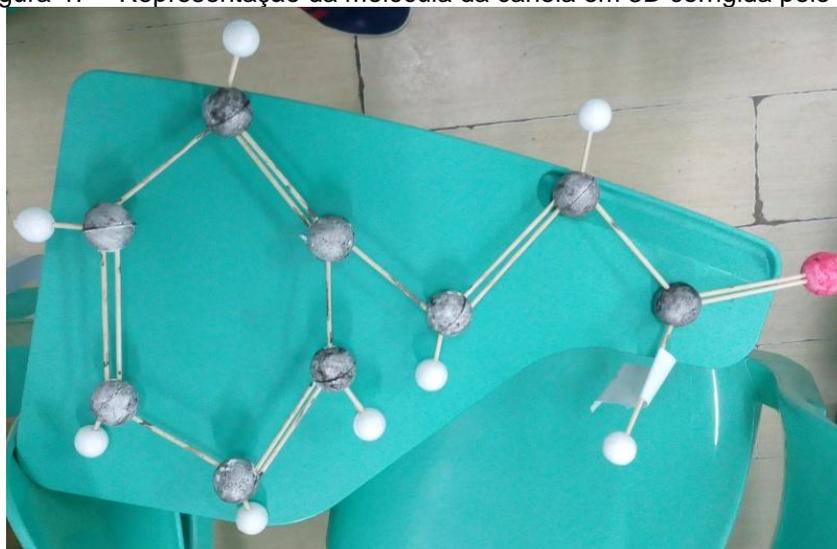
As figuras 46, 47, 48 e 49 trazem os resultados das moléculas físicas pós-correção.

Figura 46 – Representação da molécula da cafeína em 3D corrigida pelo G1



Fonte: O autor (2018).

Figura 47 – Representação da molécula da canela em 3D corrigida pelo G2



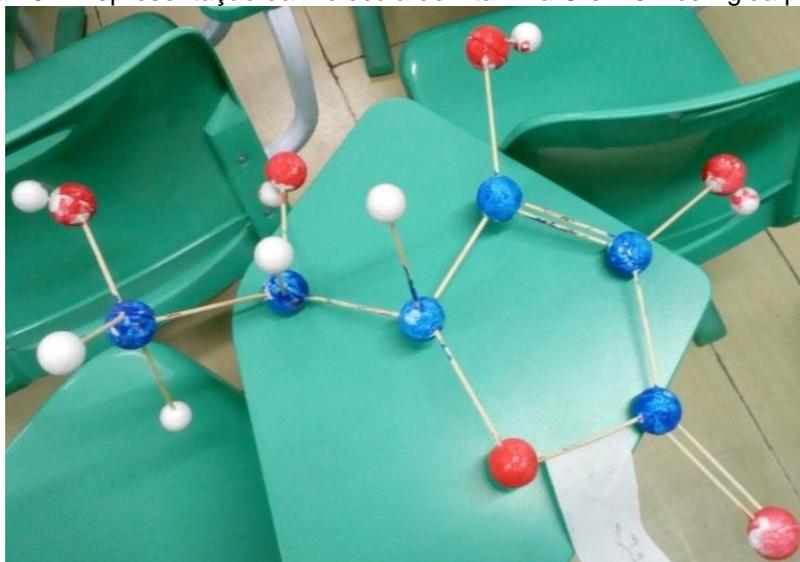
Fonte: O autor (2018).

Figura 48 – Representação da molécula do cravo em 3D corrigida pelo G3



Fonte: O autor (2018).

Figura 49 – Representação da molécula de vitamina C em 3D corrigida pelo G4



Fonte: O autor (2018).

No primeiro encontro, o grupo G4 coloriu os átomos de carbono de azul, mas ao perceber que não estava de acordo com o modelo virtual, uma aluna assumiu o equívoco e o professor explicou que não havia problema em permanecer com a cor azul.

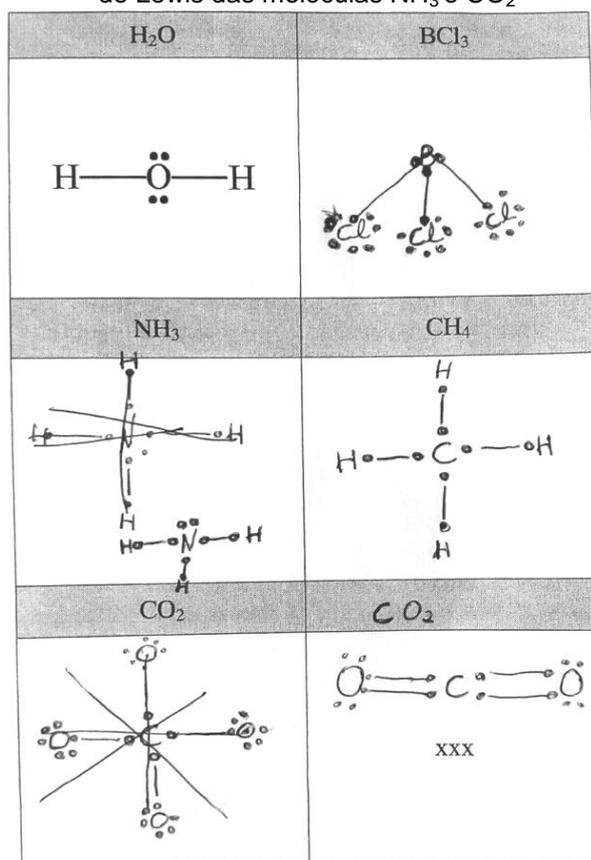
Depois que as moléculas físicas foram corrigidas, foi pedido que os alunos indicassem as diferentes geometrias (tetraédrica, trigonal plana, angular, linear)

contidas nos seus modelos (tarefa 6). O professor apontava para diferentes átomos e os alunos discutiam sobre a geometria correspondente. Nenhuma dificuldade foi encontrada nessa atividade.

A parte B do RAT1 foi destinada à revisão dos conceitos sobre ligações químicas covalentes, em que os alunos foram instruídos a determinar a estrutura de Lewis das moléculas H_2O , BCl_3 , NH_3 , CH_4 e CO_2 para o estudo das respectivas geometrias moleculares. Os registros dessa atividade mostram que aproximadamente 67% dos alunos cometeram algum erro na primeira tentativa, antes dos Alvos 4 (Apêndice J) serem apresentados com as respostas.

A Figura 50, excerto 11, exemplifica o tipo de erro recorrente para esse tipo de atividade.

Figura 50 – Excerto 11 do aluno A8 mostrando erros comuns (exemplos riscados) para as estruturas de Lewis das moléculas NH_3 e CO_2



Fonte: A pesquisa (2018).

Conforme observado na Figura 50, uma das dificuldades para a resolução do problema consiste na falta de conhecimentos prévios relativos à regra do octeto, que estabelece as condições necessárias para a estabilidade das ligações químicas. O

registro do aluno A8 deixa claro que o erro cometido teve relação com a falha em uma etapa do exercício. Por exemplo, na molécula NH_3 , o aluno entendeu erroneamente que os elétrons da camada de valência do átomo central (N) deveriam ser ligados em sua totalidade. Mesmo a fórmula molecular mostrando que há 3 hidrogênios na estrutura, pensou-se em atribuir mais hidrogênios para completar as ligações. Uma situação similar aconteceu para a molécula CO_2 , fazendo com que mais uma vez um erro fosse revelado ao adicionar mais oxigênios para satisfazerem as ligações.

A tarefa 4 (parte B, RAT1) solicitou que os estudantes criassem uma imagem mental tridimensional das moléculas contidas nos alvos 4 (Apêndice J) e depois fosse comparada com o modelo virtual (Figura 51). As respostas de um participante de cada grupo foram registradas no diário de observação do professor. Os alunos A1, A3 e A7 descreveram coerentemente as moléculas CO_2 , NH_3 e CH_4 , respectivamente, enquanto que o aluno A5 relatou não saber se os átomos de cloro ao redor do boro, na molécula BCl_3 , estariam todos no mesmo plano.

Figura 51 – Após imaginar a molécula o aluno verifica a estrutura tridimensional em RA



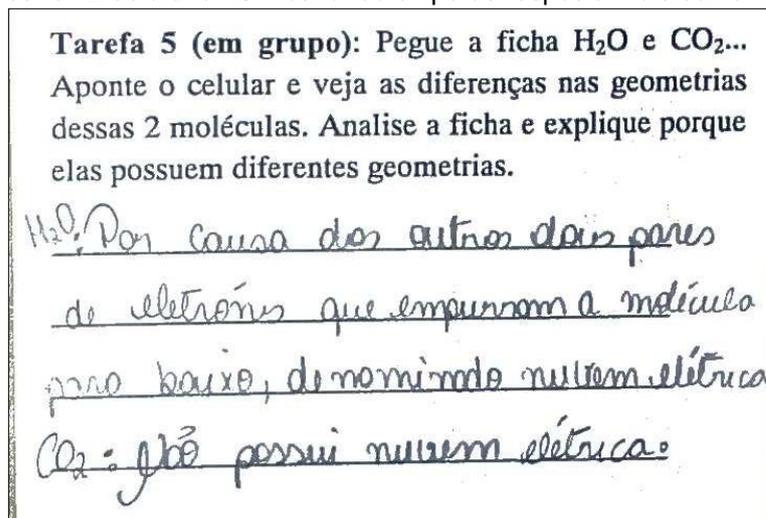
Fonte: O autor (2018).

Registros da tarefa 5 e 6 (parte B, RAT1) demonstram que todos os alunos têm noção de que os elétrons desemparelhados do átomo central da molécula H_2O são os responsáveis pela geometria angular dessa molécula. Esse par de elétrons foi referido pela maioria como uma “nuvem eletrônica”. Os alunos A1, A2, A6 e A9

escreveram equivocadamente sobre “nuvem de átomos” como os responsáveis por “empurrar” outros átomos.

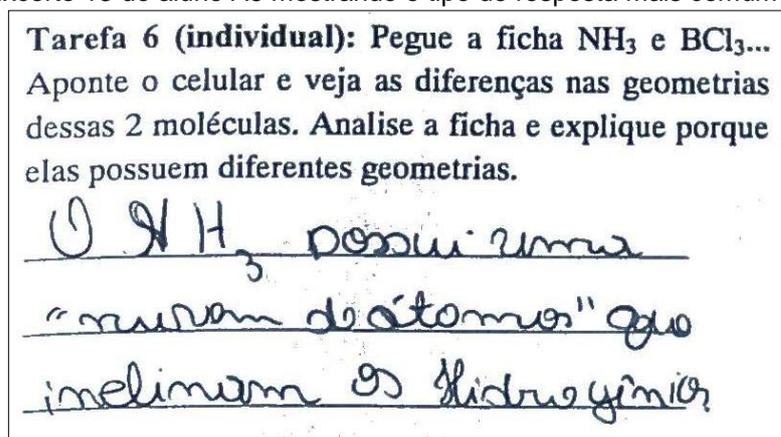
As Figuras 52 e 53 mostram dois exemplos, um para a tarefa 5 e outro para a tarefa 6, respectivamente, que representam a totalidade, considerando que os excertos escolhidos possuem pontos em comum com todas as respostas.

Figura 52 – Excerto 12 do aluno A5 mostrando o tipo de resposta mais comum para a tarefa 5



Fonte: A pesquisa (2018).

Figura 53 – Excerto 13 do aluno A6 mostrando o tipo de resposta mais comum para a tarefa 6



Fonte: A pesquisa (2018).

Nenhum aluno teve dificuldade em resolver a tarefa 7, que avaliou os conhecimentos sobre as geometrias e fórmulas moleculares estudadas.

A sessão foi encerrada e os alunos receberam uma atividade (ARM3, Apêndice H) para praticarem em casa conforme as instruções descritas no Quadro 12. A atividade em questão foi entregue ao professor no dia da terceira sessão e

nenhuma dúvida foi reportada. Conforme esperado, todos os alunos responderam as atividades corretamente. A sessão II durou 1h30min.

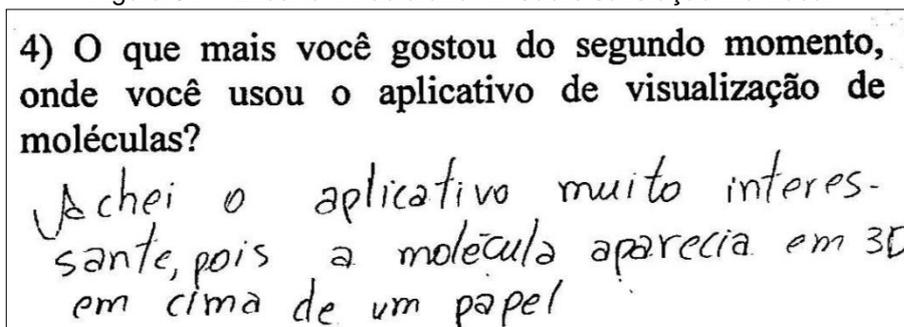
6.3 Sessão III

Cada participante recebeu um RAT2 (Apêndice I) e foi instruído a responder a primeira parte. Quando perguntado se os alunos se lembravam da molécula que eles haviam estudado e o motivo, 100% das respostas contemplaram as experiências sensoriais do primeiro encontro, como a degustação da canela (A8), o odor dos alimentos (A1, A3, A5, A6) e o contato com os alimentos (A2, A4, A7, A8, A9).

Sobre o que significa dizer que um determinado produto é feito de “tal” molécula (questão 2 do RAT2), todas as respostas convergiram para a noção de produto como o resultado da junção de várias moléculas.

A experiência de construir moléculas com bolas de isopor e palitos de churrasco foi a que mais ficou na memória dos alunos durante o primeiro encontro (77,7%). Sobre o segundo encontro, todos os participantes afirmaram ter apreciado o aplicativo pela possibilidade de visualização em 3D (Figura 54).

Figura 54 – Excerto 14 do aluno A7 sobre satisfação individual



Fonte: A pesquisa (2018).

O aluno A1 percebeu a importância do aplicativo para a correção da molécula que o grupo dele construiu (Figura 55).

Figura 55 – Excerto 15 do aluno A1 sobre satisfação individual

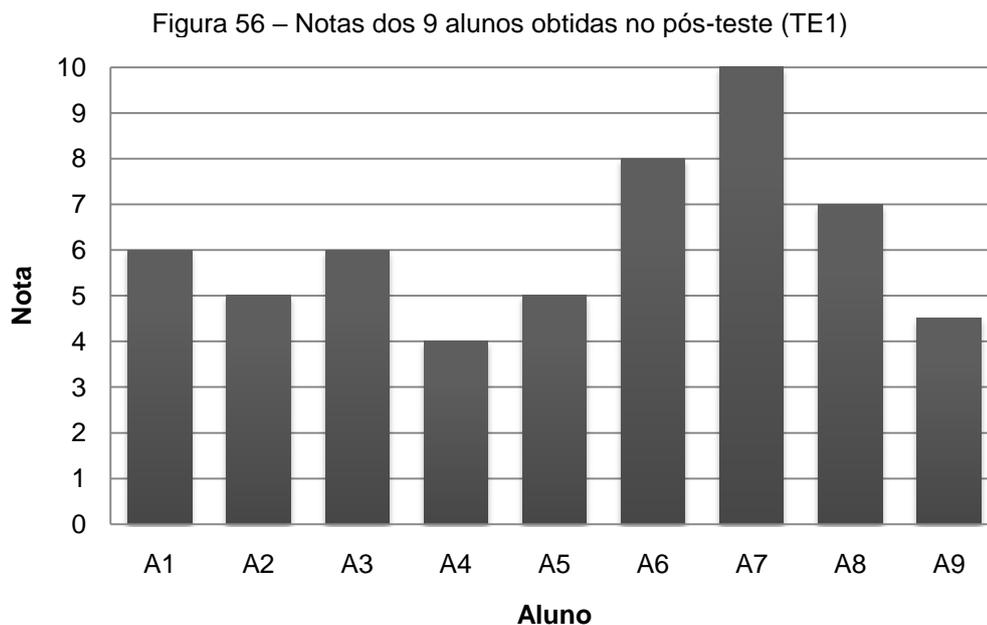
4) O que mais você gostou do segundo momento, onde você usou o aplicativo de visualização de moléculas?

puode corrigir o meu
molécula e não errar.

Fonte: A pesquisa (2018).

A parte B do RAT2 foi elaborada para servir de guia para os alunos durante a explicação do professor na fase de institucionalização (Quadro 13). Iniciou-se com a explicação de um dos objetivos da primeira aula, que foi implementar uma representação estrutural não estudada, a estrutura *bond line*. Explicou-se que os erros estavam previstos e que ele (o aluno) teve os recursos necessários para que pudesse pensar por si só a resolução das questões. Em seguida, perguntou-se porque a canela, cravo, vitamina C e café possuem sabores, odores e propriedades químicas diferentes. O aluno A1 respondeu que é porque os produtos possuem diferentes moléculas, enquanto que o aluno A5 respondeu que a geometria das moléculas influencia nas propriedades das substâncias. O professor pediu que os alunos comparassem as estruturas condensadas com as tridimensionais e identificassem as diferentes geometrias contidas nas moléculas, explicando o motivo. Essa atividade foi coletiva e, aparentemente, todos os participantes compreenderam acerca do significado das múltiplas representações, da quantidade de ligações que cada átomo faz e as causas das geometrias adquiridas.

A sessão III durou 50 min. e terminou com a aplicação dos testes TE1 (Apêndice C) e TE2 (Apêndice D). A Figura 56 mostra os resultados do TE1 pós-intervenção, cuja amplitude potencial é de 0,0 para 10,0.

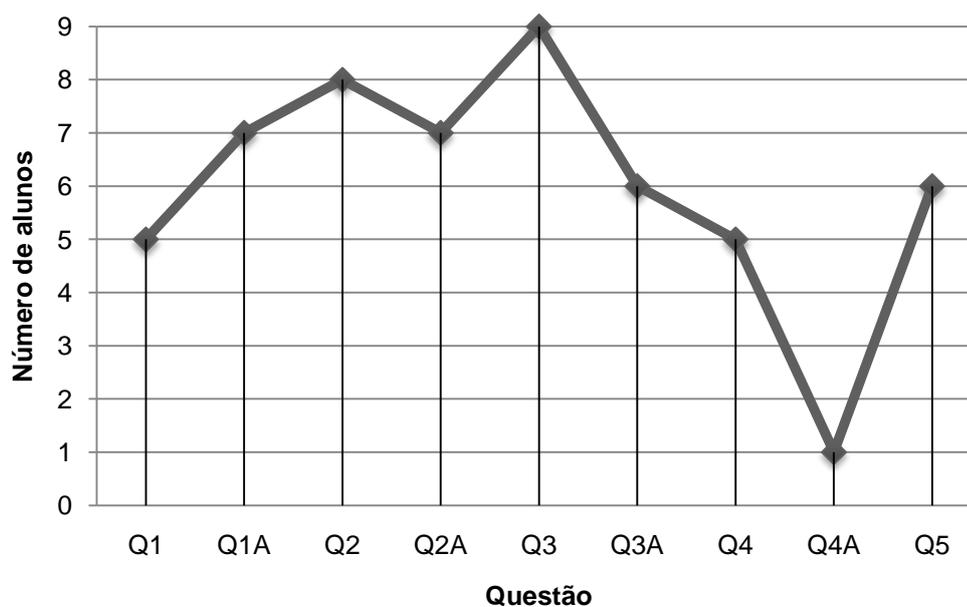


Fonte: A pesquisa (2018).

A nota média obtida no pós-teste foi de 6,2 com desvio de $\pm 1,9$. A moda e mediana foram 6,0. O valor máximo foi 10,0 e o mínimo 4,0, resultando numa amplitude igual a 6,0.

A Figura 57 mostra a frequência de acertos de cada questão.

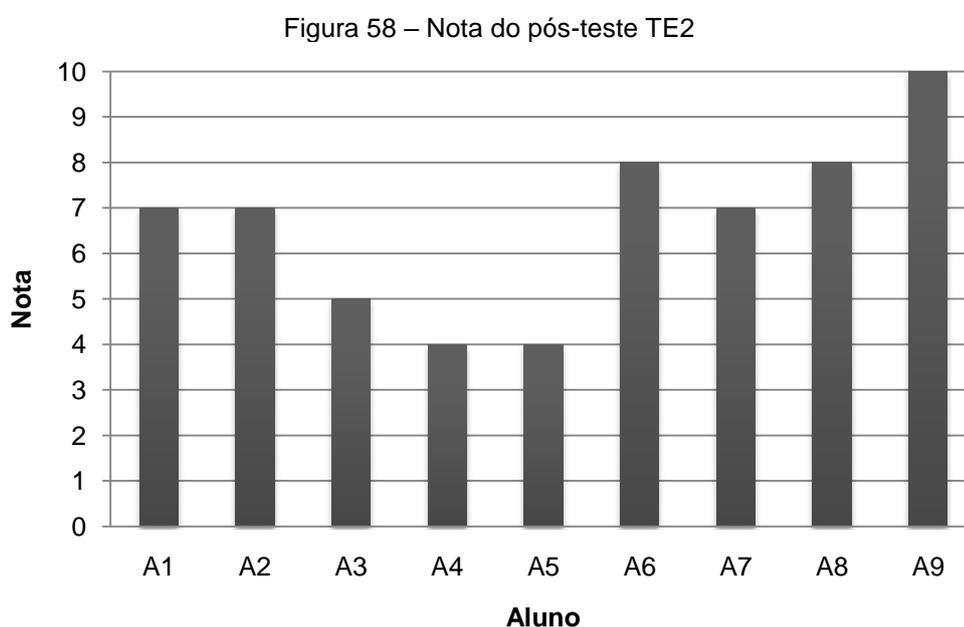
Figura 57 – Frequência de acertos no pós-teste (TE1). As questões Q referem-se às de múltipla escolha, enquanto que as questões QA referem-se às abertas



Fonte: A pesquisa (2018).

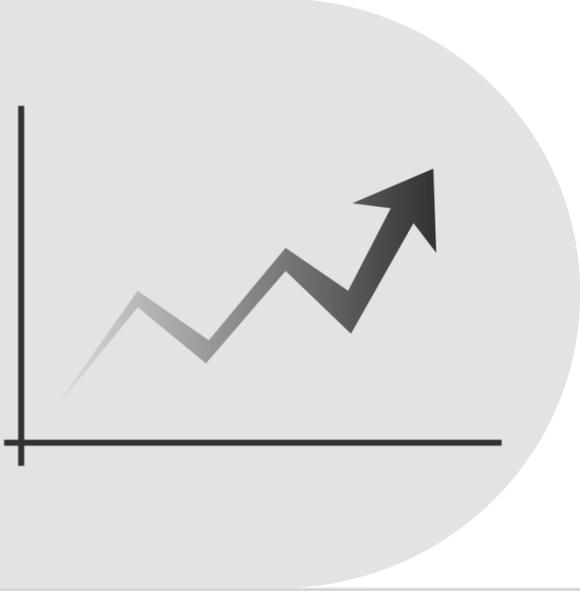
As questões Q2 e Q3 foram as que tiveram melhores resultados. Ambas as questões avaliaram as habilidades dos estudantes no quesito associação de fórmulas moleculares e estruturais com as respectivas nomenclaturas. Mais uma vez, a questão Q4A foi a que obteve o menor número de acerto. É importante frisar que os conceitos necessários para a resolução dessa tarefa não foram abordados durante a intervenção didática.

A Figura 58 mostra os resultados do TE2 pós-intervenção. A média obtida foi 6,6 e o desvio padrão 2,0.



Fonte: A pesquisa (2018).

O próximo tópico traz a análise e discussão dos dados, confrontando-os com as hipóteses e enquadrando-os dentro do aporte teórico definido.

A line graph on a light gray background with a rounded top-left corner. The graph shows a line that starts at the origin, rises to a peak, falls to a trough, rises to a higher peak, and then rises sharply to an arrowhead pointing towards the top right. The axes are represented by thin black lines.

ANÁLISE A *POSTERIORI* E VALIDAÇÃO

- Análise dos resultados
 - Constatação das hipóteses
 - Considerações finais
- 
- A gray rounded shape in the bottom right corner of the page.

7 ANÁLISE A POSTERIORI

Esta fase da Engenharia Didática Clássica consiste em analisar as situações didáticas tomando um quadro teórico como referência. As tarefas realizadas pelos alunos nas três sessões de estudo foram analisadas com o objetivo de identificar e discutir sobre os principais erros e acertos, fragilidades e potencialidades constitutivas da aprendizagem do conteúdo “Geometria Molecular (GM)”.

Os resultados do pré-teste (Figura 29) aplicados na **sessão I** mostram que os alunos possuíam conhecimentos prévios acerca do conteúdo estudado. As experiências sensoriais de degustação, olfação e construção de moléculas físicas contribuíram para o engajamento e focalização da atenção nas tarefas sugeridas. Além disso, as memórias episódicas do evento de aprendizagem do primeiro encontro foram associadas às experiências sensoriais:

- Na tarefa 2 do RAT1 (Apêndice I), solicitou-se um detalhamento dos momentos que fizeram os alunos se lembrarem das moléculas por eles construídas. Três alunos se referiram à experiência olfativa (A1, A5, A7), dois alunos à experiência gustativa (A7, A8), e dois alunos reportaram se lembrar da imagem do cravo da Índia (A3, A4). Os demais não souberam responder. Na sessão III, 77,7% dos alunos afirmaram que a experiência de construir moléculas com bolas de isopor e palitos de churrasco foi a que mais ficou na memória.

As evidências acima vão ao encontro dos achados de Maiato (2013) em sua pesquisa de mestrado. Através do monitoramento da atividade cerebral de alunos enquanto observavam e manipulavam experimentos, a autora mostrou que diferentes formas de aprendizagem por experimentação de um mesmo conceito ativam diferentes regiões cerebrais. Ademais, quanto mais recursos sensoriais disponíveis para a aprendizagem mais dicas de memória podem ser consolidadas (MAIATO, 2013).

Esperou-se que durante a atividade de reconhecimento de fatos históricos das moléculas estudadas os participantes pudessem associar as propriedades das substâncias com as suas aplicações no cotidiano. Embora essa atividade tenha feito parte de uma situação didática, definida por Brousseau (2007) como uma situação em que os conhecimentos aparecem não formulados para os alunos e eles precisam resolver os problemas com base nos seus conhecimentos prévios, assim como foi para todas as tarefas da sessão I, as declarações dos estudantes em nenhum

momento fizeram referência a essa experiência. Com efeito, percebeu-se uma falha na elaboração e condução dessa estratégia, o que pode não ter sido significativa:

- Houve muitas dúvidas nessa etapa, principalmente porque os alunos demoraram a perceber que os fatos lidos tinham relação com alguns compostos em específico e não com o produto em si. Por exemplo, as curiosidades estavam associadas somente ao cravo da Índia contido no arroz doce, à canela contida no mungunzá, à cafeína contida no brigadeiro, à vitamina C contida no suco de laranja. Foi necessária intervenção do professor para acelerar o desenvolvimento da tarefa, tendo em vista a dificuldade dos participantes em identificar as associações corretas.

Na tarefa de construção da molécula, todos os alunos deixaram de adicionar os hidrogênios ocultos da estrutura. Na verdade, esperava-se que eles se questionassem acerca da quantidade de ligações possível do carbono, verificando que havia incoerências na estrutura. Tal fato sugere que quando o aprendiz já tem conhecimento de um tipo de representação e se depara com uma nova, o processamento das informações pode não ocorrer de forma instantânea, pois é em termos de competências representacionais que o problema do reconhecimento de estruturas moleculares repousa (MARTINA, 2017). Nesse sentido, a aquisição desse tipo de competência exige prática constante.

O modelo de Martina é coerente com pesquisas bem consolidadas sobre a memória. A técnica de repetição espaçada, por exemplo, se assemelha à necessidade de proficiência para a aquisição de competências representacionais, o que não acontece em um curto intervalo de tempo. Além disso, o maior esforço cognitivo depreendido na fase inicial se dá pela necessidade de incorporação de significados semânticos a uma estrutura neuronal já estabelecida, enquanto que o menor esforço cognitivo na fluência visual sugere que existem caminhos sinápticos já consolidados.

Os erros encontrados nessa atividade mostram que há uma tendência de reprodução fiel da estrutura bidimensional (*bond line*). A introdução de uma nova representação fez com que os alunos suprimissem conceitos já estudados em detrimento de uma “verdade” que lhes fora apresentada. Em contrapartida, pelo menos um aluno de cada grupo demonstrou preocupação em organizar os átomos de hidrogênio ao redor do carbono, indicando ter traços de memória relativos à disposição dos átomos no espaço.

O teste TE3 também revelou que os alunos não conseguiram transferir efetivamente alguns conhecimentos prévios para a atividade prática. O que os levou,

por exemplo, a responder corretamente que o carbono faz 4 ligações se seus modelos físicos não mostraram esse fato? A consolidação da memória semântica pode ter acontecido de forma isolada, fora de um contexto prático que os tenha levado a relacionar as ligações químicas com representações químicas desconhecidas. Isso não quer dizer que o conteúdo sobre ligações químicas não tenha sido entendido quando ministrado, mas que uma nova situação de aprendizagem pode parecer desconectada com os saberes anteriores. Izquierdo (2011) enfatiza que no momento da evocação da memória o cérebro tenta recriar rapidamente o que levou horas para ser formado. Nesse sentido, as dificuldades em aplicar conhecimentos já adquiridos podem ser justificadas pela falta de experiências práticas associadas à atividade específica e/ou pela falta de uma instrução mais direcionada.

A **Sessão II** foi caracterizada como uma situação de formulação adidática e foi avaliada através dos registros dos estudantes e observação do professor, que, por seu turno, atuou como mediador/observador. Quando os estudantes se depararam com os modelos virtuais houve maior interesse em participar ativamente das atividades, conforme descrito no marcador EAM5. Diferentemente do que se esperava, mesmo comparando concomitantemente os modelos físicos e virtuais, não foi observado que as estruturas físicas se distinguiam das virtuais principalmente pela falta dos hidrogênios:

- Quando os alunos receberam os modelos moleculares físicos e compararam com os modelos em RA, cinco deles reconheceram que as moléculas virtuais possuíam átomos com disposições espaciais diferentes das moléculas físicas (A1, A3, A4, A7, A8). Interessantemente, nenhum aluno reportou a falta dos hidrogênios nas moléculas físicas.

Um dos motivos para a desatenção quanto aos átomos faltantes da estrutura física está relacionada à falta de direcionamento do foco para uma questão em específico. Perguntar ao aluno quais são as diferenças entre as estruturas observadas o levou a interpretar a questão da sua maneira. Os alunos A5 e A8, por exemplo, se referiram à qualidade da representação tridimensional proporcionada pelo aplicativo de realidade aumentada, quando disseram: “*a do celular está em 3D e ela mostra a profundidade e modelo mostra ela plana*” (A8) e “*o modelo em 3D tem melhor visibilidade*” (A5).

Como o ponto alvo dessa sessão consistiu em revelar os erros dos alunos e, em seguida, dispor de métodos e recursos necessários para a correção das moléculas, a tarefa 5 do RAT1, onde foi especificado o que deveria ser observado para correção, foi primordial para nortear o trabalho:

- Somente na tarefa 5 do RAT1, quando foi solicitada a correção da molécula física através da visualização da molécula virtual, os alunos dos grupos G2, G3 e G4 adicionaram os hidrogênios faltantes, além de tentarem adequar os ângulos de ligação para alcançar uma geometria espacial mais satisfatória. O grupo G1 não demonstrou engajamento na resolução dessa tarefa e não conseguiu atingir o objetivo proposto.

Tanto a determinação de metas quanto o esclarecimento das atividades a ser realizadas são importantes para minimizar a desorientação causada pela pouca objetividade. A estimulação do erro (ver princípio P3) fundamentou-se no princípio de que durante a aprendizagem, alunos de alto desempenho demonstram ativação de conexões neurais ligadas à atenção e memória, facilitando a identificação de padrões e erros informativos. Em contra partida, alunos de baixo desempenho demonstram aumento de atividade neural em redes de recompensa, na busca por *feedback* positivo (DOWNAR *et al.*, 2011).

Com o objetivo de facilitar a instrução, a revisão dos conteúdos de ligações químicas foi organizada e guiada pelo roteiro RAT1 para alcançar os fundamentos da geometria molecular. Quanto à tarefa de representação de fórmulas estruturais de Lewis a partir de fórmulas moleculares e suas respectivas geometrias, constatou-se que os alunos tiveram dificuldades para:

- Estabilizar as ligações químicas por meio do conhecimento da regra do octeto. Por exemplo, na molécula NH_3 , o aluno A8 entendeu erroneamente que os elétrons da camada de valência do átomo central (N) deveriam ser ligados em sua totalidade. Mesmo a fórmula molecular mostrando que há 3 hidrogênios na estrutura, pensou-se em atribuir mais hidrogênios para completar as ligações.
- Entender a repulsão dos pares de elétrons ligantes e não ligantes do átomo central. Por exemplo, os alunos A1, A2, A6 e A9 escreveram sobre “nuvem de átomos” e não sobre “nuvem de elétrons (mais apropriado) como os responsáveis por “empurrar” outros átomos.

A noção de repulsão eletrônica é comumente mal interpretada (GOH & SAI, 1992; UYULGAN *et al.*, 2014. Alguns alunos afirmaram que a molécula CO_2 é linear porque não tem nuvem de elétrons, revelando que nem sempre o que o professor explica e demonstra é, de fato, compreendido. Porém, observou-se uma nítida

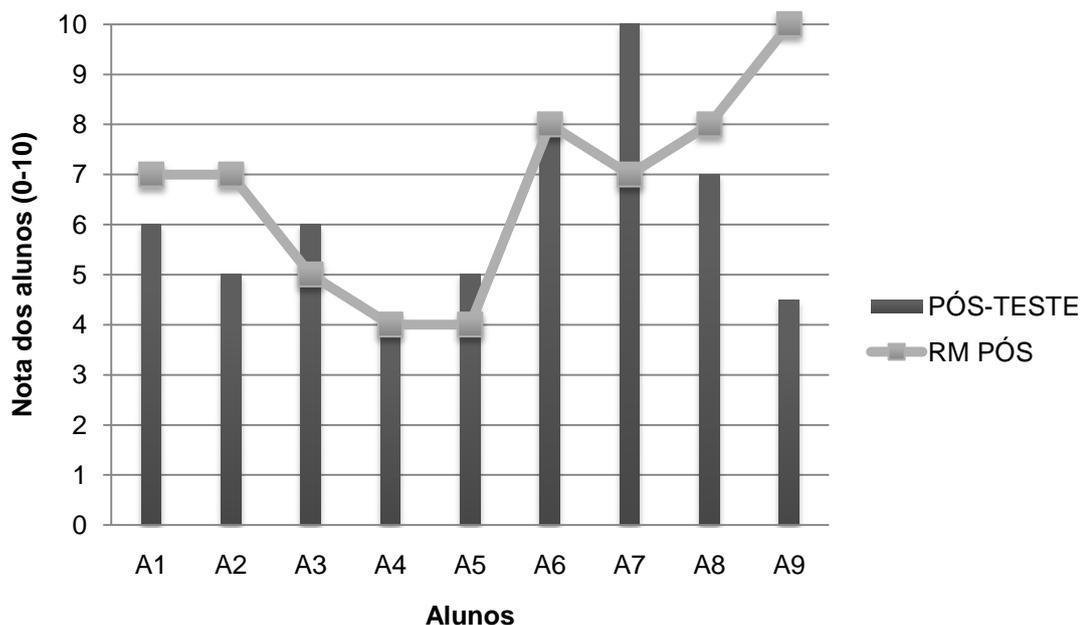
evolução no sentido de reconhecerem que a geometria molecular depende da repulsão dos elétrons, mas a ausência de vocabulário específico para justificarem as questões comprometeu a precisão das respostas.

O estudo da habilidade visuoespacial chamada “rotação mental” (ver princípio P7) influenciou a proposta da tarefa 4 (parte B, RAT1), considerando a capacidade humana em criar imagens mentais (HUANG & LIU, 2012). As expressões gestuais e verbais dos estudantes durante a elaboração de imagens mentais das moléculas mostraram que houve compreensão das representações bidimensionais no nível também tridimensional. Ademais, os alunos puderam se familiarizar com a transição de múltiplas representações que destacam características distintas (MARTINA, 2017), como o tamanho relativo e posições espaciais dos átomos vistos no modelo virtual.

Por outro lado, quando foi verificado o desempenho dos estudantes em atividades de rotação mental, cujo objetivo foi flexibilizar o pensamento espacial dos estudantes para a concepção de diferentes formas das moléculas, não houve diferença significativa após a intervenção (média 6,9 no pré-teste e 6,7 no pós-teste). As atividades de rotação mental realizadas no intervalo de um mês, com duração total estimada de trinta minutos, não foram suficientes para aumentar a proficiência dos estudantes. Com efeito, o estudo realizado por Hawes *et al.* (2015), em que foi identificada a retenção e transferência de habilidades de rotação mental, durou seis semanas, totalizando em quatro horas e trinta minutos.

A comparação dos resultados do pós-teste sobre geometria molecular e do pós-teste sobre habilidades visuoespaciais (Figura 59) revelou uma correlação de Pearson fraca (0,26), sugerindo que o desempenho de conceitos sobre GM não está significativamente associado ao desempenho de habilidades de rotação mental. Com efeito, Hawes *et al.* (2015) verificou que a transferência de habilidades pode acontecer para atividades correlatas, mas não para tarefas não treinadas.

Figura 59 – Relação entre o desempenho no teste de geometria molecular e teste de rotação mental



Fonte: A pesquisa (2018).

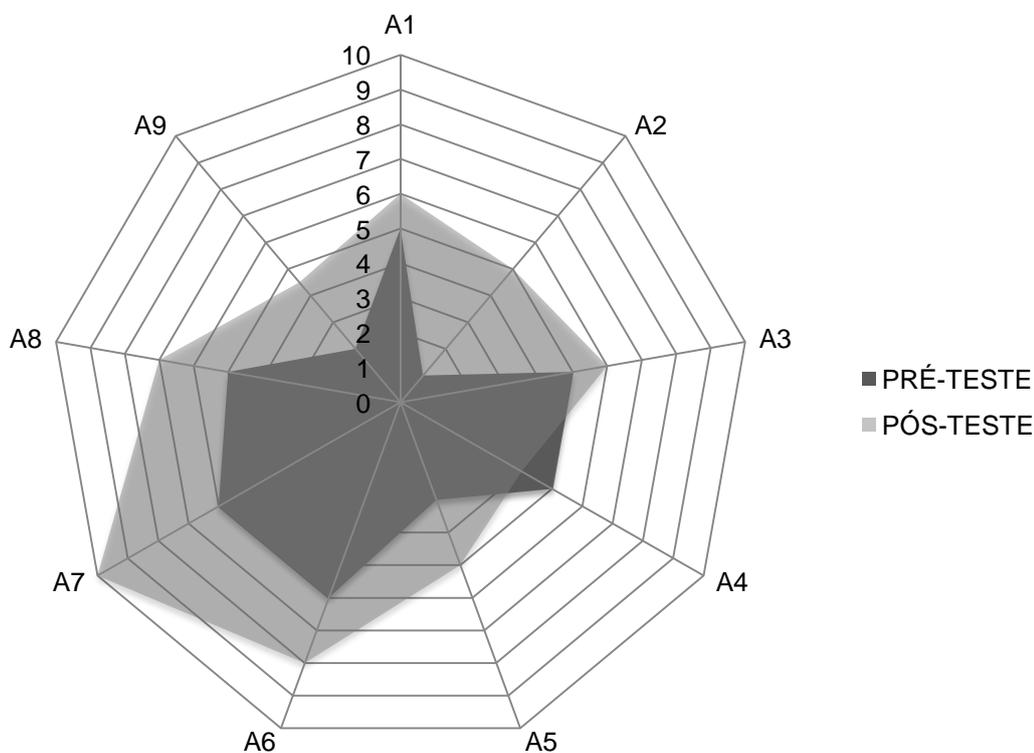
Na **sessão III** foi possível verificar a evolução do pensamento dos estudantes quanto às consequências práticas da GM. Embora a expressão precisa de conceitos químicos através de vocabulário científico adequado seja almejada em sala de aula, a compreensão macroscópica do conteúdo pode ser ainda mais significativa. Será que os alunos extraíram das atividades que a composição dos materiais e a disposição espacial das moléculas influenciam diretamente no odor, cor, gustação e polaridade?

- Perguntou-se porque a canela, cravo, vitamina C e café possuem sabores, odores e propriedades químicas diferentes. O aluno A1 respondeu que é porque os produtos possuem diferentes moléculas, enquanto que o aluno A5 respondeu que a geometria das moléculas influencia nas propriedades das substâncias.

O objetivo da sessão de institucionalização foi justamente organizar os conhecimentos adquiridos pelos alunos de forma coletiva, de modo que os construtos fossem direcionados aos objetivos da pesquisa. Os resultados permitem afirmar que o processo de aprendizagem pelo método da prática espaçada (ver princípio P2) contribuiu para a manutenção dos eventos anteriores e, conseqüentemente, para uma elaboração conceitual mais robusta.

A comparação dos resultados do pré-teste e pós-teste que acessaram os conhecimentos sobre GM mostra que houve rendimento da aprendizagem (Figura 60).

Figura 60 – Comparação de desempenho do pré-teste e pós-teste

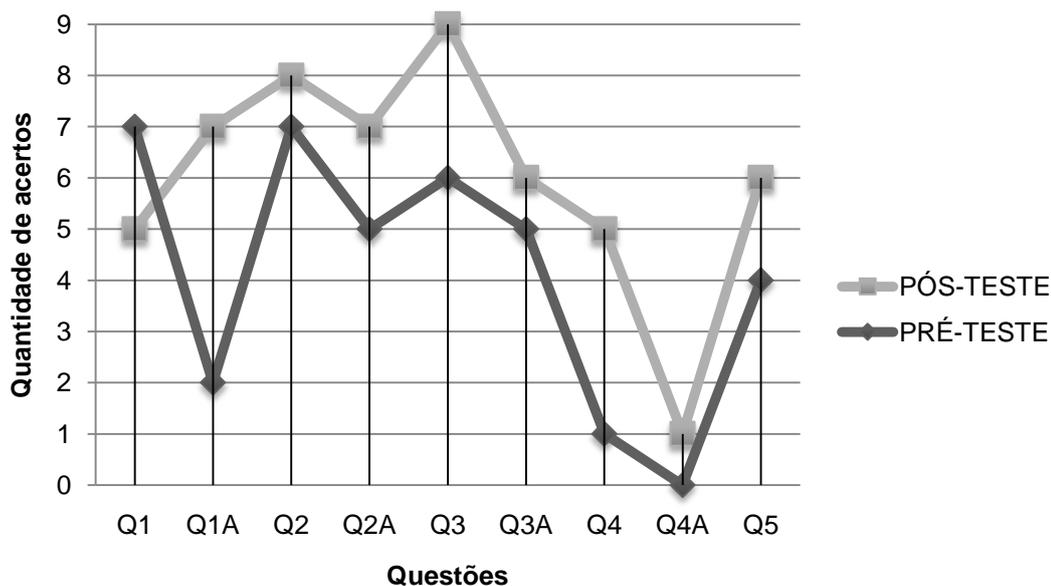


Fonte: A pesquisa (2018).

A intervenção didática contribuiu para a aprendizagem geral em 20%, aumentando a média do grupo de 4,2 para 6,2. Observou-se que embora desenvolvida uma sequência didática sistemática com variáveis macrodidáticas e microdidáticas controláveis, não foi possível garantir o controle de variáveis relativas ao estado psicológico dos estudantes, como questões emocionais, atencionais, motivacionais, entre outros. Previamente, houve um contrato didático (BROUSSEAU, 2007), onde os participantes se comprometeram a lidar com as situações com responsabilidade, mas foi observado nas três sessões que alguns alunos aparentavam cansaço, tinham pressa e às vezes não se engajavam satisfatoriamente nas atividades.

A Figura 61 mostra a frequência de acertos nas questões do pré-teste e pós-teste sobre GM.

Figura 61 – Comparação da frequência de acertos no pré-teste e pós-teste do TE1



Fonte: A pesquisa (2018).

A falta de instrução que levasse os alunos a entender o conceito de ressonância fez com a questão Q4A permanecesse com baixo índice de acerto. O aumento significativo de acertos nas questões Q1A, Q3 e Q4 revela que os conhecimentos sobre ligações químicas e suas associações com as geometrias moleculares foram aprimorados ao longo da intervenção.

Em suma, os principais resultados da pesquisa apontaram que:

1. Traços de memória da aprendizagem anterior a seis meses da intervenção repousaram sobre aspectos mais gerais da geometria molecular, como o reconhecimento da nomenclatura a partir da fórmula estrutural. As questões de múltipla escolha foram as que mais obtiveram acertos.
2. Os recursos multissensoriais proporcionaram melhor engajamento e contribuíram para a evocação de memórias episódicas associadas à aprendizagem de conceitos químicos.
3. A construção de modelos moleculares físicos contribuiu para a avaliação dos erros dos alunos, enquanto os modelos virtuais contribuíram para a percepção e correção dos erros.
4. O erro conceitual mais proeminente tem a ver com a noção de repulsão eletrônica dos pares de elétrons.
5. O processo de aprendizagem pelo método da prática espaçada contribuiu para a manutenção dos eventos anteriores e, conseqüentemente, para uma elaboração conceitual mais robusta.
6. A duração do treinamento das habilidades visuoespaciais por meio de tarefas de rotação mental foi insuficiente para o desenvolvimento de tais habilidades.

7. O avanço na aprendizagem de geometria molecular não influenciou nos resultados do teste de rotação mental, sugerindo uma correlação fraca entre as duas variáveis.
8. Houve evolução dos conhecimentos sobre geometria molecular e que embora os dados quantitativos não tenham revelado um progresso significativo para alguns alunos, os comportamentos observados durante as práticas mostraram que a aprendizagem ocorreu para todos, em diferentes níveis.

O próximo tópico mostra a validação da sequência didática através da avaliação do confronto das hipóteses geradas nas análises *a priori* com os resultados das análises *a posteriori*.

8 VALIDAÇÃO

A validação se deu a partir do confronto entre as hipóteses geradas na análise *a priori* e análise *a posteriori*, conforme instituída por Artigue (1998) como parte indispensável da Engenharia Didática Clássica. As potencialidades e fragilidades da SD foram identificadas nessa fase, de onde as respostas para as questões da pesquisa tornaram-se claras.

Optou-se por seguir o modelo realizado por Fonseca (2012). Para cada sessão, quadros mostram os principais excertos que previram os acontecimentos (análise *a priori*) e os respectivos excertos que mostram o que realmente aconteceu (análise *a posteriori*). Em seguida, são apresentadas as hipóteses gerais envolvidas (H_1 e H_2) e, por fim, a validação (positiva ou negativa).

H₁ – Uma sequência didática que mobilize os conhecimentos prévios dos alunos a partir de recursos físicos e virtuais pode promover a aprendizagem de Geometria Molecular, na medida em que o professor joga com os erros e dificuldades dos alunos em prol do alcance dos objetivos visados pelo ensino.

H₂ – A metodologia e recursos adotados devem ser constituídos de dispositivos contextuais que privilegiem atitudes ativas - com o máximo de envolvimento dos órgãos do sentido - para promover eventos emocionais e facilitar a evocação da memória episódica e semântica.

As hipóteses específicas (análise *a priori*) e gerais consideradas válidas são aquelas em que os fatos descritos na análise *a posteriori* as confirmam. O termo “Não Aplica” na coluna “Hipóteses Gerais” foi atribuído às tarefas de aplicação de pré-testes e pós-testes.

Quadro 16 – Confronto entre as análises *a priori* e *a posteriori*

SESSÃO I				
Tarefa/Objetivo		Excertos	Hipóteses Gerais	Validação
T1 – Avaliar os conhecimentos prévios sobre GM, respondendo o TE1.	Análise <i>a priori</i>	Espera-se um melhor resultado nas questões de múltipla escolha.	Não Aplica	Positiva
	Análise <i>a posteriori</i>	Traços de memória da aprendizagem anterior a seis meses da intervenção repousaram sobre aspectos mais gerais da geometria molecular, como o reconhecimento da nomenclatura a		

		partir da fórmula estrutural. As questões de múltipla escolha foram as que mais obtiveram acertos.		
T2 – Avaliar o desempenho em atividades de Rotação Mental a partir do resultado do TE2.	Análise a <i>priori</i>	Será possível obter evidências sobre alunos que possuem e não possuem facilidade para manipular mentalmente moléculas tridimensionais.	Não Aplica	Positiva
	Análise a <i>posteriori</i>	A média do grupo no pré-teste foi 6,9.		
T3 – Contextualizar o ensino de geometria molecular a partir de uma situação adidática.	Análise a <i>priori</i>	Espera-se que os alunos criem memórias positivas dos eventos através da estimulação dos sentidos gustativo, olfativo e visual.	H ₂	Positiva
	Análise a <i>posteriori</i>	Na tarefa 2 do RAT1 (Apêndice I), solicitou-se um detalhamento dos momentos que fizeram os alunos se lembrarem das moléculas por eles construídas. Três alunos se referiram à experiência olfativa (A1, A5, A7), dois alunos à experiência gustativa (A7, A8), e dois alunos reportaram se lembrar da imagem do cravo da Índia (A3, A4). Os demais não souberam responder.		
T4 – Introduzir o tipo de representação molecular condensada e revisar conceitos de ligações químicas.	Análise a <i>priori</i>	Como os alunos não têm conhecimento das estruturas condensadas, em que carbonos e hidrogênios estão ocultos, espera-se que ao ligar os átomos, eles percebam que se fizerem conforme a molécula impressa, o modelo ficará incongruente em termos de quantidade de ligações possível dos carbonos. É de se esperar também que os alunos organizem os átomos conforme as geometrias correspondentes.	H ₁	Negativa
	Análise a <i>posteriori</i>	Na tarefa de construção da molécula, todos os alunos deixaram de adicionar os hidrogênios ocultos da estrutura. Tal fato sugere que quando o aprendiz já tem conhecimento de um tipo de representação e se depara com uma nova, o processamento das informações pode não ocorrer de forma instantânea.		
T5 – Avaliar como os alunos entenderam a transição da fórmula condensada	Análise a <i>priori</i>	a) Caso a molécula tenha sido construída sem os hidrogênios, espera-se que os alunos percebam que algo está errado ao registrar na segunda questão a quantidade de ligações que cada átomo faz. b) É possível também que mesmo	H ₁	a) Negativa b) Positiva

para a 3D. Responder o TE3.		com a molécula incorreta os alunos respondam a segunda questão corretamente, por constantemente ouvirem nas aulas que o carbono faz 4 ligações.		
	Análise a <i>posteriori</i>	a) Nenhum aluno reportou a falta dos hidrogênios nas moléculas físicas. b) Incoerentemente, a resposta da segunda questão está correta, já que foi respondido que o átomo de carbono faz 4 ligações, mas a estrutura montada pelos alunos não mostra essas ligações.		
T1 e T2 sobre Rotação Mental – Treinar/ desenvolver habilidades visuoespaciais	Análise a <i>priori</i>	Espera-se que os alunos treinem até conseguir 100% de desempenho.	H ₁	Positiva
	Análise a <i>posteriori</i>	Todas as atividades foram realizadas corretamente.		

Fonte: O autor (2018), adaptado de Fonseca (2011).

Quadro 17 – Confronto entre as análises a *priori* e a *posteriori*

SESSÃO II				
Tarefa/Objetivo		Excertos	Hipóteses Gerais	Validação
T1 - Estimular a reconsolidação de memórias do primeiro encontro associadas às ligações químicas e disposição espacial dos átomos	Análise a <i>priori</i>	a) Na parte A do roteiro, tarefa 1, os alunos provavelmente sentirão dificuldades para reconhecer a molécula criada no primeiro encontro, pois na realidade aumentada a molécula apresenta os hidrogênios que estavam ocultos no momento que eles montaram. b) O cheiro, o sabor e a história podem ser lembrados durante a tarefa 2, então espera-se que os estudantes recriem as memórias do primeiro encontro e as associem com as novas atividades. c) É na tarefa 4 que os erros cometidos no primeiro encontro deverão ser identificados e corrigidos na tarefa 5. d) Na tarefa 6, os alunos provavelmente saberão identificar as geometrias.	H ₁ e H ₂	a) Positiva b) Positiva c) Positiva d) Positiva
	Análise a <i>posteriori</i>	a) As moléculas tridimensionais em RA foram apresentadas de forma mais sofisticada e permitiram que mais de 50% dos alunos fizessem o reconhecimento através da recordação de algumas características.		

		<p>b) Na tarefa 2 do RAT1 (Apêndice I), solicitou-se um detalhamento dos momentos que fizeram os alunos se lembrarem das moléculas por eles construídas. Três alunos se referiram à experiência olfativa (A1, A5, A7), dois alunos à experiência gustativa (A7, A8), e dois alunos reportaram se lembrar da imagem do cravo da índia (A3, A4). Os demais não souberam responder.</p> <p>c) Quando os alunos receberam os modelos moleculares físicos e compararam com os modelos em RA, cinco deles reconheceram que as moléculas virtuais possuíam átomos com disposições espaciais diferentes das moléculas físicas (A1, A3, A4, A7, A8).</p> <p>d) Foi pedido que os alunos indicassem as diferentes geometrias (tetraédrica, trigonal plana, angular, linear) contidas nos seus modelos (tarefa 6). O professor apontava para diferentes átomos e os alunos discutiam sobre a geometria correspondente. Nenhuma dificuldade foi encontrada nessa atividade.</p>		
T2 - Revisar conteúdos de ligações químicas e geometria molecular com o auxílio de um aplicativo de RA	Análise a <i>priori</i>	Espera-se que os alunos não demonstrem dificuldades, uma vez que o roteiro leva o aluno passo a passo a execução das tarefas. Na tarefa 5 e 6, espera-se que o motivo indicado seja referente a repulsão dos pares eletrônicos não ligantes.	H ₁ e H ₂	Positiva
	Análise a <i>posteriori</i>	Registros da tarefa 5 e 6 (parte B, RAT1) demonstram que todos os alunos têm noção de que os elétrons desemparelhados do átomo central da molécula H ₂ O são os responsáveis pela geometria angular dessa molécula.		
T1 sobre Rotação Mental - Treinar/ desenvolver habilidades visuoespaciais	Análise a <i>priori</i>	Espera-se que os alunos treinem até conseguir 100% de desempenho.	H ₁	Positiva
	Análise a <i>posteriori</i>	Todas as atividades foram realizadas corretamente.		

Fonte: O autor (2018), adaptado de Fonseca (2011).

Quadro 18 – Confronto entre as análises *a priori* e *a posteriori*

SESSÃO III				
Tarefa/Objetivo		Excertos	Hipóteses Gerais	Validação
T1 - Estimular a reconsolidação de memórias dos conteúdos e eventos registrados nos encontros anteriores.	Análise <i>a priori</i>	a) Na questão 1, espera-se que os alunos se lembrem dos eventos (alimentos) trabalhados por eles. b) Na questão 2, espera-se que eles expressem que a água macroscópica é o resultado da interação entre muitas moléculas de água. Essa etapa levará o professor a verificar a concepção de moléculas dos estudantes.	H ₂	a) Positiva b) Positiva
	Análise <i>a posteriori</i>	a) Quando perguntado se os alunos se lembravam da molécula que eles haviam estudado e o motivo, 100% das respostas contemplaram as experiências sensoriais do primeiro encontro, como a degustação da canela (A8), o odor dos alimentos (A1, A3, A5, A6) e o contato com os alimentos (A2, A4, A7, A8, A9). b) Sobre o que significa dizer que um determinado produto é feito de “tal” molécula (questão 2 do RAT2), todas as respostas convergiram para a noção de produto como o resultado da junção de várias moléculas.		
T2 - Institucionalizar a aprendizagem de GM.	Análise <i>a priori</i>	a) Quando perguntado sobre os alimentos, espera-se que os alunos respondam que as moléculas são diferentes. b) Espera-se que os alunos digam que o C faz quadro, o H uma, o N três e o O duas ligações. Espera-se que respondam corretamente sobre a repulsão do par eletrônico não ligante como sendo o responsável pela geometria em torno dos átomos citados.	H ₂	a) Positiva b) Positiva
	Análise <i>a posteriori</i>	a) Perguntou-se porque a canela, cravo, vitamina C e café possuem sabores, odores e propriedades químicas diferentes. O aluno A1 respondeu que é porque os produtos possuem diferentes moléculas, enquanto que o aluno A5 respondeu que a geometria das moléculas influencia nas propriedades das substâncias. b) Essa atividade foi coletiva e, aparentemente, todos os participantes compreenderam acerca do significado das múltiplas representações, das quantidades		

		de ligações que cada átomo faz e as causas das geometrias adquiridas.		
T3 - Avaliar os conhecimentos sobre GM adquiridos no decorrer da intervenção.	Análise a <i>priori</i>	Espera-se um melhor resultado nas questões de múltipla escolha e abertas.	Não Aplica	Positiva
	Análise a <i>posteriori</i>	A intervenção didática contribuiu para a aprendizagem geral em 20%, aumentando a média do grupo de 4,2 para 6,2		
T4 - Avaliar o desempenho em atividades de Rotação Mental a partir do resultado do TE2.	Análise a <i>priori</i>	Espera-se melhor resultado em comparação com a primeira aplicação.	Não Aplica	Positiva
	Análise a <i>posteriori</i>	A duração do treinamento das habilidades visuoespaciais por meio de tarefas de rotação mental foi insuficiente para o desenvolvimento de tais habilidades.		

Fonte: O autor (2018), adaptado de Fonseca (2011).

Conforme observado, das 19 hipóteses específicas avaliadas, apenas 2 (T4 e T5 da sessão I) foram invalidadas. Conforme discutido na análise a *priori*, o motivo pelo qual as respostas dessas duas hipóteses específicas não condisseram com o esperado pode estar relacionado com a dificuldade de aplicação de conhecimentos teóricos em contextos reais. Além disso, o pré-teste sobre GM indicou que os alunos haviam esquecido conceitos fundamentais que suportam a percepção dos erros encontrados nas tarefas T4 e T5 da sessão I.

De modo geral, as hipóteses H_1 e H_2 puderam ser confirmadas dentro do contexto desta pesquisa.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenrolar da pesquisa teve sua gênese no levantamento histórico do desenvolvimento da noção de Geometria Molecular (GM). Considerou-se a perspectiva epistemológica discutida por Guy Brousseau (1989) com o objetivo de identificar obstáculos (Quadro 1) que podem estar associados às dificuldades de aprendizagem do conteúdo em tela.

Esse estudo deu suporte à investigação por subsidiar a análise da organização dos conteúdos de materiais didáticos, permitindo o seu questionamento e/ou entendimento. Também trouxe implicações para a sala de aula na forma de novas práticas pensadas a partir da incorporação de elementos constitutivos da própria história da GM, como a manipulação de materiais físicos para explicar macroscopicamente as propriedades de materiais diversos.

A tentativa de muitos pesquisadores parece repousar no argumento de que através do acesso a evidências científicas o professor possa mudar suas atitudes e passe a adotar estratégias que privilegiem o desenvolvimento de competências e habilidades não só relacionadas com o conteúdo semântico das representações químicas, mas também com a questão cognitiva.

Com efeito, Charbonneau (2013) chama a atenção para o fato da materialização de representações moleculares servir como uma facilitação cognitiva, em que a memória de trabalho é menos comprometida, levando a uma simplificação da visualização tridimensional.

No currículo da Educação Básica brasileira, o conteúdo GM é comumente abordado no primeiro ano do EM, provendo o aluno com a primeira experiência formalizada que subsidia o entendimento das moléculas como entidades pertencentes a um plano tridimensional.

Ao analisar trabalhos científicos recentes acerca do ensino e aprendizagem de GM, incluindo teses, dissertações e livros didáticos aprovados no Plano Nacional do Livro Didático de 2017, deparou-se com uma gama de discussões teóricas e metodológicas que visam à minimização das dificuldades dos alunos, como as destacadas a seguir:

1. Há uma preocupação importante quanto aos aspectos cognitivos envolvidos na aquisição de competências representacionais, como o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais.
2. Alguns livros didáticos não consideram mecanismos cognitivos de aprendizagem de múltiplas representações referentes a modelos moleculares (não ilustram representações variadas e seus significados).
3. As dificuldades de aprendizagem e erros conceituais recorrentes derivam da falta de recursos pedagógicos que potencializem a visualização de fenômenos microscópicos.
4. As justificativas históricas e contextualização são pouco satisfatórias.

Nesse sentido, percebeu-se que abordagens históricas focadas na evolução dos conceitos da GM são pouco contempladas nas pesquisas desenvolvidas. Portanto, entender as características do saber em questão através da história e do ensino habitual foi o objetivo dessa parte da análise preliminar, que buscou trazer à tona as principais discussões, limitações, dificuldades e avanços associados à concepção de GM.

A fundamentação teórica considerou alguns pressupostos de aprendizagem na perspectiva neurocognitiva, servindo de suporte para o estabelecimento de estratégias para uma aprendizagem mais significativa. Enquanto a intervenção teve um desenho macrodidático baseado nas etapas de ação, formulação, validação e institucionalização (BROUSSEAU, 2007), as tarefas individuais foram cautelosamente planejadas sob princípios de aprendizagem que levam em consideração o funcionamento do cérebro em atividades ativas (ver Quadros 4 e 6).

Os principais resultados apontaram que o alto desempenho dos estudantes evidenciado nas primeiras avaliações enfraqueceu ao longo dos seis meses anteriores à aplicação da pesquisa. A média do grupo no TE1 antes da intervenção foi 4,2. Os acertos em questões de baixa atividade cognitiva (reconhecimento/questão fechada) foram maiores do que em questões de alta atividade cognitiva (recordação/questão aberta). O pós-teste indicou um rendimento de aprendizagem geral de 20% (média 6,2), no intervalo de um mês.

Os recursos multissensoriais proporcionaram melhor engajamento e contribuíram para a consolidação e evocação de memórias episódicas associadas à aprendizagem de conceitos químicos dentro de um contexto significativo. A manipulação de modelos moleculares físicos contribuiu para a avaliação dos erros dos alunos, enquanto os modelos virtuais contribuíram para a percepção e correção dos erros.

Quanto aos erros conceituais, há uma tendência em considerar os átomos como os responsáveis pela disposição geometria das moléculas e, geralmente, os alunos erram ao demonstrar a natureza espacial das moléculas devido à falta de conhecimentos sobre ligações químicas covalentes e tabela periódica.

O processo de aprendizagem pelo método da repetição espaçada contribuiu para a manutenção dos eventos anteriores e, conseqüentemente, para uma elaboração conceitual mais robusta, no sentido de favorecer a reconsolidação de elementos associativos que respondem à pergunta “Por que estou aprendendo isso?”. Já o treinamento de habilidades visuoespaciais (rotação mental) foi insuficiente para revelar resultados significativos dentro do período estabelecido.

Com isso, os resultados convergiram nas hipóteses gerais, confirmando que: 1) Recursos físicos e virtuais podem favorecer a aprendizagem das noções de geometria molecular e podem servir como técnicas de avaliação dos erros dos alunos; 2) Procedimentos metodológicos que levam em consideração o funcionamento cerebral e o uso dos órgãos dos sentidos facilitam a consolidação e evocação da memória de longo prazo.

Cabe destacar, porém, que o uso de recursos tidos como potenciais para a aprendizagem por si só não garante o sucesso da atividade pedagógica, tendo em vista que o caminho metodológico é o elemento norteador que mais impacta positivamente ou negativamente no alcance dos objetivos. Ainda que desperte a curiosidade e favoreça o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais, o uso de modelos moleculares para a construção de moléculas não garante que o aluno aprenda a sua finalidade pedagógica, como tomar consciência dos processos macroscópicos no nível microscópico e, assim, entender o comportamento químico e físico dos materiais do dia a dia.

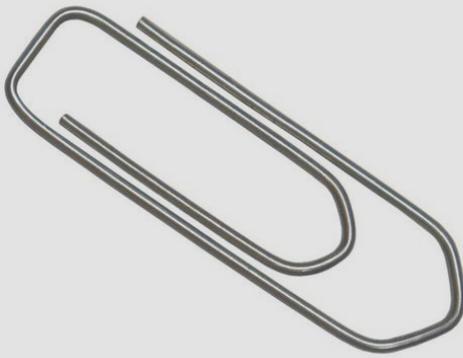
Adicionalmente, o estudo mostrou que a questão da visualização em química e da necessidade de manipulação física de modelos moleculares é constitutiva da própria evolução história da geometria molecular. Esse ponto amplifica a necessidade de superação dos obstáculos epistemológicos e cognitivos associados às representações moleculares.

Ao considerar as recentes pesquisas relacionadas às dificuldades de aprendizagem do conteúdo GM e as potencialidades dos recursos didáticos na

superação de tais dificuldades, evidentemente há caminhos para a promoção de um ensino e aprendizagem eficazes. Longe de sugerir uma solução definitiva para todos os problemas de aprendizagem e aplicável a todos os alunos, os resultados deste estudo oportuniza reflexões visando à construção de práticas pedagógicas eficientes.

Além disso, considerando que a educação é uma atividade comportamental relativamente dependente do contexto sociocultural (HORVATH *et al.*, 2017), os resultados provenientes dessa investigação não poderão ser levados a cabo em todos os contextos e conteúdos. É importante ressaltar que o trabalho de Engenharia Didática Clássica (ARTIGUE, 1998) visado por este estudo teve por finalidade compreender os processos de aprendizagem dentro das condições investigadas para posteriores adaptações.

Dessa forma, a recorrência de falhas na aprendizagem suscita a necessidade cada vez mais emergente de se entender os processos de ensino e aprendizagem em diferentes contextos e sob diferentes fontes teóricas. Inquestionavelmente, se o educador tem consciência dos processos pelos quais os alunos aprendem e, além disso, age com fundamentos sobre as estratégias de ensino, existem possibilidades de mudanças atitudinais perante a organização do sistema educativo.

A stylized paperclip icon is positioned on the left side of the page, enclosed within a light gray circular shape. The paperclip is rendered in a simple, dark gray outline style.

REFERÊNCIAS, APÊNDICES E ANEXOS

- Referências
 - Apêndices
 - Anexos
- 
- A decorative light gray rounded rectangular shape is located in the bottom right corner of the page.

REFERÊNCIAS

- ALMOULOUD, S. A. **Fundamentos da didática da matemática**. Curitiba: UFPR, 2007.
- ALMOULOUD, S. A.; SILVA, M. J. F. Engenharia didática: evolução e diversidade. **Revemat**: Revista Eletrônica de Educação Matemática, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 22-52, 2012.
- ARTIGUE, M. **Ingénierie Didactique**. Recherches en Didactique des Mathématiques. Grenoble: La Pensée Sauvage-Éditions, v. 9, n. 3, p. 281-308, 1998.
- ASIMOV, I. **A short history of chemistry**. New York: Anchor Books, 1965.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Tradução Estela dos Santos Abreu – Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BENITE, A. M. C.; BENITE, C. R. M.; FILHO, S. M. Cibercultura em ensino de química: elaboração de um objeto virtual de aprendizagem para o ensino de modelos atômicos, **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 2, p. 71-76, 2011.
- BOUSON, J. D. **Metodologias didáticas alternativas para o ensino de geometria molecular e soluções**: estratégias para a construção do conhecimento. Niterói, 2015. 74p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Fluminense.
- BRANDÃO, M. L. **As bases biológicas do comportamento**: introdução à neurociência. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2004.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília: MEC, 2000.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2002.
- BROADBENT, D. **Perception and communication**. London: Pergamon, 1958.
- BROUSSEAU, G. **Introdução ao estudo das situações didáticas**: conteúdos e métodos de ensino. São Paulo: Ática, 2007.
- BROUSSEAU, G. Les obstacles épistémologiques et la didactique des mathématiques. Nadine Bednarz, Catherine Garnier. Construction des savoirs obstacles et conflits, **CIRADE Les éditions Agence d'Arc inc.**, p.41-63, 1989.
- BROUSSEAU, G. Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques, **RDM**, v. 4, n. 2, p.164-198, 1983.
- BROUSSEAU, G. Les obstacles épistémologiques, problèmes et ingénierie didactique. Guy Brousseau. La théorie des situations didactiques, **La pensée sauvage**, Recherches en Didactiques des Mathématiques, p.115-160, 1998.

BROWN, H. C. Foundations of the structural theory. **Journal of Chemistry Education**, v. 36, n. 3, p. 104-110, 1959.

BROWN, P. C. *et al.* **Make It Stick** : the science of successful learning. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press, 2014.

CARLSON, N. R. **Physiology of Behaviour**. Boston: Ally and Bacon, 2012.

CARTER, R. *et al.* **O livro do cérebro**. Rio de Janeiro: Agir, 2012.

CHARBONNEAU, M. The cognitive life of mechanical molecular models. **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 44, p. 585-594, 2013.

COOPER, L. A. Mental rotation of random two-dimensional shapes, **Cognitive Psychology**, v. 7, p. 20-43, 1975.

CORRÊA, A. C. O. **Memória, aprendizagem e esquecimento**: a memória através das neurociências cognitivas. São Paulo: Atheneu, 2010.

COSENZA, R. M., GUERRA, L. B. **Neurociência e educação**: como o cérebro aprende. Porto Alegre: Artmed, 2011.

COSTA, K. L. Uso de aplicativo no ensino de química para o estudo da geometria molecular. In: 13^o Simpósio Brasileiro de Educação Química. **Anais...** Fortaleza, 2015.

COUTEUR, P. L.; BURRESON, J. **Os botões de Napoleão**: as 17 moléculas que mudaram a história. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.

DOWNAR, J. *et al.* Neural correlates of effective learning in experienced medical decision-makers. **PLoS One**, v. 6, n. 11, e27768, 2011.

DRAYER, D. E. The early history of stereochemistry: from the discovery of molecular asymmetry and the first resolution of a racemate by Pasteur to the asymmetrical chiral carbon of van't Hoff and Le Bel*. **Clinical Research and Regulatory Affairs**, v. 18, n. 3, p. 181-203, 2001.

FILHO, M. C. A evolução da química: de Boyle a Lavoisier. **Revista Química Nova**, v. 7, n. 2, p. 93-95, abr., 1984.

FIORI, N. **As neurociências cognitivas**. Petrópolis: Vozes, 2008.

FONSECA, L. S. **A aprendizagem das funções trigonométricas na perspectiva da Teoria das Situações Didáticas**. São Cristóvão, 2011. 195p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Sergipe.

FONSECA, L. S. Desenvolvimento da Aprendizagem Matemática: relações neurobiológicas esperadas pelo Sistema Nervoso Central. **Caminhos da Educação Matemática em Revista (On-line)**, v. 4, n. 1, p. 13-28, 2015a.

FONSECA, L. S. **Funções trigonométricas**: elementos “de” & “para” uma engenharia didática. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

FONSECA, L. S. **Um estudo sobre o ensino de funções trigonométricas no Ensino Médio e no ensino superior no Brasil e França**. São Paulo, 2015b. 495p. Tese de Doutorado – Universidade Anhanguera de São Paulo.

FREITAS L. P. S. R. *et al.* Modelos moleculares: um recurso didático no ensino das estruturas tridimensionais dos compostos orgânicos na educação básica de química. In: 52º Congresso Brasileiro de Química. **Anais...** Recife, 2012.

GAZZANIGA, M. S. *et al.* **Neurociência cognitiva**: a biologia da mente. Porto Alegre: Artmed, 2006.

GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais, **Química Nova**, v. 33, n. 8, p. 1809-1814, 2010.

GILLESPIE, R. J.; NYHOLM, R. S. Inorganic stereochemistry. **Quarterly Reviews, Chemical Society**, v. 11, n. 4, p. 339-380, 1957.

GLASER, G. Epistémologie des nombres relatifs, **Recherches em Didactique des Mathématiques**, v. 2, n. 3, p. 5-31, 1981.

GODINO, J. D. *et al.* Didactic Engineering as Design-Based Research in mathematics education. Eighth Congress of European Research in Mathematics Education. **Conference Paper...** 2013.

GOH, N. K.; SAI, C. L. Students' learning difficulties on covalent bonding and structure concepts. **Teaching and Learning**, v. 12, n. 2, p. 58-65, 1992.

GRAULICH, N. The tip of the iceberg in organic chemistry classes: how do students deal with the invisible? **Chemical Education Research and Practice**, v. 16, n. 9, p. 9-21, 2015.

HAIST, F.; SHIMAMURA, P. A.; SQUIRE, L. R. On the relationship between recall and recognition memory, **J Exp Psychol Learn Mem Cogn**, v. 18, n. 4, p. 691-702.

HAWES, Z.; MOSS, J.; CASWELL, B.; POLISZCZUK, D. Effects of mental rotation training on children's spatial and mathematics performance: a randomized controlled study, **Trends in Neuroscience & Education**, v. 4, p. 60–68, 2015.

HERZ, R. S. *et al.* Neuroimaging evidence for the emotional potency of odor-evoked memory. **Neuropsychologia**, v. 42, p. 371-378, 2004.

HOFMANN, A. W. On the combining power of atoms. **Proceedings of the Royal Institution**, v. 4, p. 401-430, 1865.

HORVATH, J. C.; LODGE, J. M.; HATTIE, J. (Eds.). **From the laboratory to the classroom**: translating science of learning for teachers. 1ed. New York: Routledge, 2017.

- HOYO, M. O.; ROSA, M. A. B. Promotion of Spatial Skills in Chemistry and Biochemistry Education at the College Level, *Journal of Chemical Education*, v. 94, n. 8, p. 996–1006, 2017.
- HUANG, C. F.; LIU, C. J. An Event-Related Potentials Study of Mental Rotation in Identifying Chemical Structural Formulas, **European Journal of Educational Research**, v. 1, n. 1, p. 37-54, 2012.
- INGOLD, C. K. The structure of benzene. **Proceedings of the Bakerian Lecture**, v. 169, p. 149-173, 1938.
- IZQUIERDO, I. **Memória**. 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- JAMES, W. **Principles of psychology**. New York: H. Holt, 1890.
- JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: logical or psychological? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 1, n. 1, p. 9-15, 2000.
- KANDEL, E. R. *et al.* **Princípios de neurociências**. 5ed. Brasil: MCGRAW-HILL, 2014.
- KANDEL, E. R. The molecular biology of memory storage: a dialogue between genes and synapses, **Science**, v. 294, p. 1030-1038, 2001.
- KNIGHT, D. M. The Development of Chemistry, 1789-1914: Selected essays. 1998. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=F7XSYSB1-NYC&dq=%22on+the+combining+power+of+atoms%22&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s>. Acesso em: 18 abr. 2017.
- KOZMA, R.; RUSSELL, J. Students becoming chemists: developing representational competence. In: GILBERT, J. (Ed.). **Visualization in Science Education**, p. 121-145, Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2005.
- LEANDRO *et al.* Aprendendo os modelos atômicos, através de práticas lúdicas: uma experiência realizada pelos alunos do PIBID, na EREM São Sebastião, Ouricuri-PE. In: 13º Simpósio Brasileiro de Educação Química. **Anais...** Fortaleza, 2015.
- LEDOUX, J. **O cérebro emocional: os misteriosos alicerces da vida emocional**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.
- LEICESTER, H. M. Contributions of Butlerov to the development of structural theory. **Journal of Chemistry Education**, v. 36, n. 7, p. 328-329, 1959.
- LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**. 2ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.
- LENT, R. **Neurociência da Mente e do Comportamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- LEWIS, G. N. The Atom and the Molecule. **Journal of the American Chemical Society**, 38, 762-785, 1916.

- MACHADO, J. R. *et al.* O emprego das garrafas pet na construção de modelos moleculares: uma ferramenta importante no estudo das funções orgânicas. In: 12º Simpósio Brasileiro de Educação Química. **Anais...** Fortaleza, 2014.
- MAIATO, A. M. **Neurociências e aprendizagem**: o papel da experimentação no ensino de ciências. Rio Grande, 2013. 81p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande.
- MARTINA, A. R. Supporting student's learning with multiple visual representations. In: HORVATH, J. C.; LODGE, J. M.; HATTIE, J. (Eds). **From the laboratory to the classroom**: translating science of learning for teachers. Cap. 9. 1ed. New York: Routledge, 2017.
- MELO, R. M.; NETO, E. G. Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química, **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 112-122, 2012.
- MEYER, E. V.; MCGOWAN, G. **A history of chemistry**: from the earliest times to the present day. New York: The Macmillan Company, 1906.
- MIRANDA, M. I. Taste and odor recognition memory: the emotional flavor of life. **Rev. Neurosci.**, v. 23, n. 5-6, p. 481-499, 2012.
- NETO, J. R. F. **Tecnologia no ensino de geometria molecular**. Uberlândia, 2007. 122p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia.
- NEVES, J. L. Pesquisa qualitativa: características, uso e possibilidades. **Cadernos de pesquisa em administração**, São Paulo. v. 1, n. 3, 1996.
- NUNES, S. L. A.; COUTINHO, F. A.; MORAES, G. S. P. Neurociências e educação em Ciências. Memória e Ensino. In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais...** Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2015.
- OLIVEIRA, G. G. Neurociências e os processos educativos: um saber necessário na formação de professores, **Educação Unisinos**, v. 18, n. 1, p. 13-24, 2014.
- PAULING, L. **The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals**: an introduction to modern structural chemistry. 3ed. Cornell University Press, 1960.
- PAULING, L. **The nature of the chemical bond. application of results obtained from the quantum mechanics and from a theory of paramagnetic susceptibility to the structure of molecules**. Journal of the American Chemical Society, v. 53, n. 4, p. 1367-1400, 1931.
- PEKDAĞ, B.; AZIZOĞLU, N. Semantic mistakes and didactic difficulties in teaching the “amount of substance” concept: A useful model, **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 1, p. 117-129, 2013.
- PEREIRA, A. What the cognitive neurosciences mean to me, **Mens Sana Monographs**, v. 5, n. 1, 158–168, 2007.

PEREIRA, M. M. **Memória mediada na aprendizagem de Física: problematizando a afirmação “Não me lembro de nada das aulas do ano passado!”**. São Paulo, 2014. 364p. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo.

PIAGET, J. **L'équilibration des structures cognitives**. Paris: PUF, 1975.

PURVES, D. *et al.* **Neurociências**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

RAMOS, A. F. **Estudo da influência da utilização de software de modelagem molecular no processo de aprendizagem de conceitos químicos por estudantes do Ensino Médio e superior**. Canoas, 2015. 207p. Tese de Doutorado – Universidade Luterana do Brasil.

RAMSAY, O. B. Molecular Models in the Early Development of Stereochemistry: I. The van't Hoff Model. II. The Kekulé Models and the Baeyer Strain Theory. In: van't Hoff-Le Bel Centennial. **ACS Symposium Series...** Washington: American Chemical Society, 1975.

RAUPP, D. T. **Um estudo de caso sobre a compreensão de conceitos químicos mediante visualização de representações computacionais 3D utilizando o referencial de Campos Conceituais**. Canoas, 2010. 108p. Dissertação de Mestrado – Universidade Luterana do Brasil.

ROYAL SOCIETY. **Brain waves module 2: Neuroscience: implications for education and lifelong learning**. Royal Society, 2011.

SANTANA, E. M.; SILVA, E. L.; BARROS, V. P. Compreensão da polaridade das moléculas através de modelos moleculares didáticos. In: 13^o Simpósio Brasileiro de Educação Química. **Anais...** Fortaleza, 2015.

SCHIFFMAN, H. R. **Sensação e percepção**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

SEBATA, C. E. **Aprendendo a imaginar moléculas: uma proposta de ensino de geometria molecular**. Brasília, 2006. 167p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.

SHEPARD, R. N.; METZLER, J. Mental rotation of three-dimensional objects, **Science**, v. 171, p. 701–703, 1971.

SIDGWICK, N. V. **The electronic theory of valence**. Oxford: Oxford University Press, 1927.

SIDGWICK, N. V.; POWELL, H. M. Stereochemical types and valency groups. **Proceedings of the Royal Institution**, v. 176, n. 965, p. 153-180, 1940.

SILVA, A. M. **Geometria molecular: elaboração, aplicação e avaliação de uma sequência didática envolvendo o lúdico**. Niterói, 2016. 80p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Fluminense.

STIEFF, M. Mental rotation and diagrammatic reasoning in science, **Learning and Instruction**, v. 17, n. 2, p. 219–234, 2007.

SUTTON, M. A forgotten triumph. **Chemistry World**, 2008. Disponível em: <<https://www.chemistryworld.com/feature/a-forgotten-triumph/3004463.article>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

TOMASINO, B.; GREMESE, M. Effects of Stimulus Type and Strategy on Mental Rotation Network: An Activation Likelihood Estimation Meta-Analysis. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 9, n. 693, p. 1-26, 2016.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

UTTAL, D. H. *et al.* The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies, **Psychological Bulletin**, v.139, n. 2, p. 352–402, 2013.

UYULGAN, M. A.; AKKUZU, N.; ALPAT, S. Assessing the students' understanding related to molecular geometry using a two-tier diagnostic test, **Journal of Baltic Science Education**, v. 13, n. 6, p. 839-855, 2014.

VOLLHARDT, P.; SCHORE, N. **Química orgânica: estrutura e função**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

WRIGHT, R. *et al.* Training generalized spatial skills, **Psychonomic Bulletin & Review**, v. 15, n. 4, p. 763-771, 2008.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A – Termo de consentimento livre e esclarecido (menores de 18 anos)

A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA COMO BASE DA APRENDIZAGEM DA GEOMETRIA MOLECULAR: um estudo sobre os atributos esperados pelo cérebro para o funcionamento da memória de longo prazo

Convidamos o aluno menor de 18 anos, abaixo identificado, a participar de uma pesquisa cujo objetivo é verificar o funcionamento da aprendizagem dos alunos sob algumas abordagens metodológicas fundamentadas na neurociência cognitiva.

Trata-se de um trabalho interdisciplinar que integra os campos da psicologia cognitiva, neurociência e educação em prol do melhoramento das metodologias de ensino e aprendizagem em química. Irei testar, especificamente, sequências de ensino que privilegiem o armazenamento, consolidação e evocação da memória de longo prazo provenientes de informações visuoespaciais (compreensão de moléculas tridimensionais). Serão ao todo três encontros presenciais compreendidos em até 2 meses.

- O primeiro encontro destina-se à avaliação de conhecimentos preliminares e de habilidades visuoespaciais em química, bem como a aplicação de uma sequência didática experimental que conta com a manipulação de materiais para a construção de moléculas.

- O segundo é destinado à aplicação de uma sequência didática experimental que conta com a tecnologia de realidade aumentada em smartphones para a visualização de representações tridimensionais de moléculas.

- O terceiro momento destina-se à avaliação pós-intervenção didática.

O aluno receberá, enquanto durar a pesquisa, tarefas de atividades visuoespaciais que deverão ser respondidas em casa.

O presente termo contém informações sobre a pesquisa e estou à disposição para quaisquer esclarecimentos que julgar necessário.

Eu _____
 (nome do responsável), RG _____, responsável pelo menor de 18
 anos _____ cujo nome é _____
 nascido(a) em ____/____/____, na qualidade de seu/sua
 _____.(especificar a relação de parentesco), concordo de
 livre e espontânea vontade que ele/ela participe da pesquisa intitulada: **“A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA COMO BASE DA APRENDIZAGEM DA GEOMETRIA MOLECULAR: um estudo sobre os atributos esperados pelo cérebro para o funcionamento da memória de longo prazo”**.

A minha aceitação é totalmente livre de qualquer tipo de constrangimento e se dá nas condições abaixo indicadas. Portanto, estou ciente que:

- 1) Serão realizados testes de conhecimentos específicos de química e de habilidades visuoespaciais através de formulários de registro. Os dados serão utilizados única e exclusivamente pelo pesquisador responsável, sendo mantido o anonimato do aluno;
- 2) O menor será convidado a participar de fotografias relacionadas às questões discutidas pela pesquisa, não sendo, pois, realizados registros de sua imagem pessoal, uma vez que sua identidade será completamente preservada. Durante os momentos de observação, havendo desconforto por parte do menor, as fotos serão suspensas assim que solicitado por ele;
- 3) Concordo que os resultados obtidos sejam divulgados em publicações científicas relacionadas à pesquisa, desde que nem o meu nome, nem o do menor de 18 anos, sejam mencionados;
- 4) Concordo quanto à utilização dos dados obtidos no questionário, observações, e fotografias (que não envolve a imagem pessoal), em publicações científicas, bem como em publicações diversas (artigos, resenhas, relatórios, capítulos de livros e outros meios impressos ou digitais nacionais e internacionais), em exposições, em congressos, bem como em qualquer outro meio de divulgação que convier à

pesquisa na condição de que seja preservada a identidade do menor de 18 anos, bem como a minha identidade enquanto responsável do mesmo;

- 5) Posso, a qualquer tempo, o direito ao acesso às informações sobre procedimentos e benefícios relacionados à pesquisa, inclusive para que sejam prestados os esclarecimentos que se fizerem necessários;
- 6) Tenho a liberdade de desistir ou interromper a colaboração neste estudo no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação e essa desistência não causará nenhum prejuízo a mim, nem ao menor sob minha responsabilidade;
- 7) Posso a salvaguarda da confidencialidade, sigilo e privacidade dos dados informados;
- 8) A participação na pesquisa não implicará em qualquer tipo de despesa para mim e o menor;
- 9) A participação não implicará em qualquer tipo de constrangimento ou risco;
- 10) Poderei tomar conhecimento dos resultados ao final desta pesquisa a partir das publicações científicas que serão realizadas;
- 11) Declaro haver lido o presente Termo e entendido as informações fornecidas pelo pesquisador e sinto-me esclarecido para autorizar a participação do menor de 18 anos em questão;
- 12) Tenho conhecimento de que em caso de quaisquer dúvidas sobre a pesquisa poderei entrar em contato pessoal com o pesquisador ou, ainda, utilizar o telefone que consta abaixo ou ainda diretamente no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, localizado a Cidade Universitária. Prof. Aloísio de Campos, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão – SE. Fone: (79) 3194/6797. Telefone para contato do responsável pela pesquisa: 79 99991-0455.

Nome por extenso do responsável: _____

Assinatura: _____

_____ (SE), ____ de março de 2017.

APÊNDICE B – Termo de anuência para realização de pesquisa

As informações que seguem estão sendo fornecidas para a participação de alunos voluntários do 2º ano do EM dessa instituição numa pesquisa de mestrado. O tema da pesquisa é **“A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA COMO BASE DA APRENDIZAGEM DA GEOMETRIA MOLECULAR: um estudo sobre os atributos esperados pelo cérebro para o funcionamento da memória de longo prazo”** e o objetivo é verificar o funcionamento da aprendizagem dos alunos sob algumas abordagens metodológicas fundamentadas na neurociência cognitiva.

Trata-se de um trabalho interdisciplinar que integra os campos da psicologia cognitiva, neurociência e educação em prol do melhoramento das metodologias de ensino e aprendizagem em química. Serão ao todo três encontros presenciais compreendidos em 2 meses.

- O primeiro encontro destina-se à avaliação de conhecimentos preliminares e de habilidades visuoespaciais em química, bem como a aplicação de uma sequência didática experimental que conta com a manipulação de materiais para a construção de moléculas.

- O segundo é destinado à aplicação de uma sequência didática experimental que conta com a tecnologia de realidade aumentada em smartphones para a visualização de representações tridimensionais de moléculas.

- O terceiro momento destina-se à avaliação pós-intervenção didática.

O aluno receberá, enquanto durar a pesquisa, tarefas de atividades visuoespaciais que deverão ser respondidas em casa.

Quanto às questões éticas, o pesquisador garante a divulgação integral à escola e aos alunos dos resultados provenientes da pesquisa, além de manter em anonimato os nomes dos participantes e da escola.

Enquanto representante da instituição, concordo com a participação voluntária na pesquisa e poderei retirar meu consentimento a qualquer momento, antes ou depois da mesma, sem penalidades ou prejuízo.

Nome por

Extenso: _____

Assinatura: _____

_____ (SE), ____ de março de 2017.

APÊNDICE C – Validação de Teste de Pesquisa (TE1)

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGECIMA MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática	
	Mestrando: Kleyfton Soares da Silva	Orientador: Dr. Laerte Fonseca

O **TE1** é um instrumento designado para o registro de conhecimentos preliminares de estudantes do 2º ano do EM acerca das noções de “geometria molecular”.

A pesquisa visa investigar, sob princípios neurocognitivos, o funcionamento da memória de longo prazo e habilidades visuoespaciais em química dos estudantes.

As questões foram elaboradas em dois níveis com base nos princípios da evocação da memória de reconhecimento (*recognition memory*) e memória de recordação (*recall memory*). Ambas dependem da memória explícita/declarativa, mas enquanto a memória de reconhecimento não requisita um processamento cerebral profundo, a memória recordativa estimula uma atividade cerebral mais intensa (HAIST *et al.*, 1992).

Relação dos tipos de evocação de memória com as questões elaboradas:

- Memória de Reconhecimento: possibilidade de acerto pela assimilação das representações simbólicas apresentadas com os contextos de aprendizagem anteriores, não necessariamente por compreender os conteúdos abordados.
- Memória Recordativa: as memórias semânticas (relativas aos conteúdos específicos) são obrigatoriamente evocadas para propiciar a assimilação dos conceitos e resolução dos problemas propostos.

As perguntas subjetivas têm o propósito de identificar os conhecimentos do aluno relativos à sua memória recordativa, equanto que as de múltipla escolha oportunizam o reconhecimento de eventos sem muito esforço cognitivo.

No que tange as categorias responsáveis pela avaliação das questões (I, P ou S), pede-se justificá-las sempre que prevalecer o julgamento pelas duas primeiras.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGECIMA
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática

Mestrando: Kleyfton Soares da Silva

Orientador: Dr. Laerte Fonseca

Ano: 2017

Quão satisfatória está a relação entre a questão e seus respectivos objetivos?

I=insatisfatória; P=pouco satisfatória; S=satisfatória

Questão	Memória Requisitada	Objetivo	Critério utilizado	I	P	S
01	Reconhecimento	Identificar a habilidade de prever a disposição espacial de moléculas a partir de fórmulas estruturais.	Apresentar apenas uma alternativa que sugere a disposição tetraédrica do carbono de modo a propiciar o reconhecimento da disposição tridimensional do carbono sp ³ .			
	Recordação	Identificar conhecimentos relativos à regra do octeto e fórmula eletrônica de Lewis.	Apresentar 1 molécula que contém ligações simples e duplas, além de conter o átomo de oxigênio.			
02	Reconhecimento	Verificar a possível associação da fórmula com o termo que descreve a geometria.	Apresentar moléculas cujo número de átomos ligados ao átomo central sugere a sua possível geometria.			
	Recordação	- Identificar conhecimentos preliminares acerca da classificação periódica dos elementos (reconhecimento da relação família-número de elétrons na camada de valência). -Identificar as relações existentes entre a estrutura de Lewis e a teoria da repulsão do par eletrônico através das representações escritas das ligações químicas.	Sugerir a representação espacial das moléculas para identificar as relações existentes entre a concepção da geometria e a estrutura bidimensional da molécula.			
03	Reconhecimento	Verificar a possível associação da representação estrutural de Lewis com o termo que descreve a geometria.	Apresentar as estruturas espaciais de Lewis das moléculas.			
	Recordação	Identificar conhecimentos relativos à teoria da repulsão eletrônica (VSEPR).	Apresentar duas moléculas triatômicas com diferentes geometrias.			
04	Recordação	- Identificar conhecimentos relativos à extensão à regra do octeto (SO ₃). - Identificar conhecimentos relativos à teoria da repulsão eletrônica (VSEPR).	Apresentar moléculas que não seguem a regra do octeto. Obs: Devido aos frequentes erros conceituais relacionados à exceção à regra do octeto, a alternativa “e” foi adicionada para verificar se o aluno possui dúvida quanto à formação de ligações químicas nessas condições.			
05	Reconhecimento	Constatar a habilidade de identificar as geometrias moleculares em representações tridimensionais.	Apresentar uma molécula com no mínimo 3 regiões geométricas distintas.			



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGEICIMA
 MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
 Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática

Mestrando: Kleyfton Soares da Silva

Orientador: Dr. Laerte Fonseca

Ano: 2017

Questão	Nível	Justificativas	I	P
01	Reconhecimento			
	Recordação			
02	Reconhecimento			
	Recordação			
03	Reconhecimento			
	Recordação			
04	Recordação			
05	Reconhecimento			

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE	
	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGECIMA	
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA		
Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática		
Mestrando: Kleyfton Soares da Silva	Orientador: Dr. Laerte Fonseca	Ano: 2017

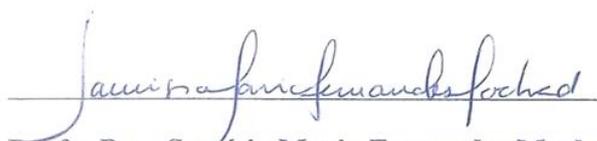
VALIDAÇÃO DE PROTOCOLO DE PESQUISA

“PROTOCOLO NGM21”

PARECER FINAL

Eu, **Samísia Maria Fernandes Machado**, professora do Departamento de Química da UFS e pesquisadora do PPGECIMA, dou com **VALIDADO** o referido protocolo, considerando os conteúdos relacionados nas questões abrigadas pelos objetivos elencados, bem como pelos critérios utilizados que buscaram identificar a existência de memória de reconhecimento e de recordação sobre as noções de geometria molecular.

São Cristóvão, 27 de abril de 2017.



Profa. Dra. Samísia Maria Fernandes Machado

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE	
	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGECIMA	
	MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA	
	Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática	
Mestrando: Kleyfton Soares da Silva	Orientador: Dr. Laerte Fonseca	Ano: 2017

VALIDAÇÃO DE PROTOCOLO DE PESQUISA

“PROTOCOLO NGM21”

PARECER FINAL

Eu, **Edson José Wartha**, professor do Departamento de Química da UFS e pesquisador do PPGECIMA, dou com VALIDADO o referido protocolo, considerando os conteúdos relacionados nas questões abrigadas pelos objetivos elencados, bem como pelos critérios utilizados que buscaram identificar a existência de memória de reconhecimento e de recordação sobre as noções de geometria molecular.

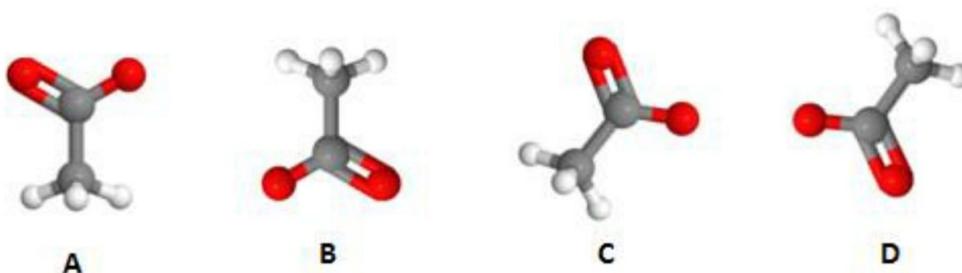
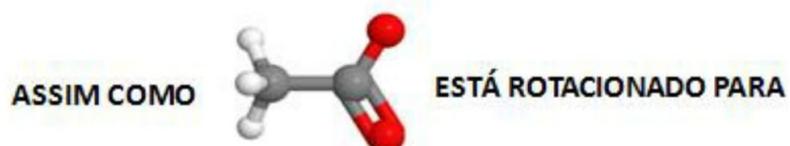
São Cristóvão, 25 de abril de 2017.



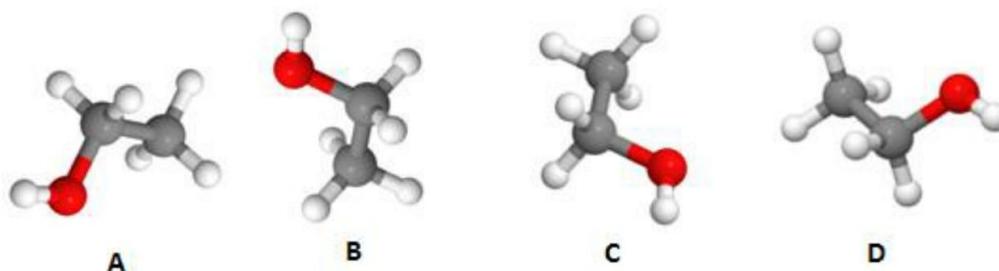
Prof. Dr. Edson José Wartha.

APÊNDICE D – Teste de rotação mental (TE2)

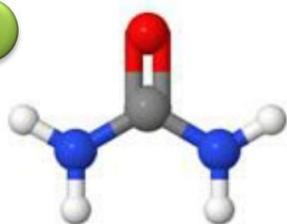
1



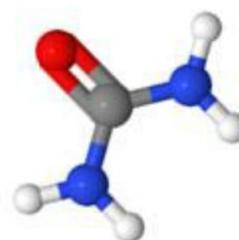
2



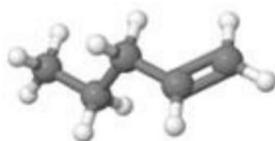
3



ESTÁ ROTACIONADO PARA



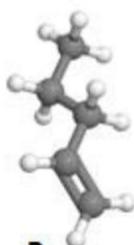
ASSIM COMO



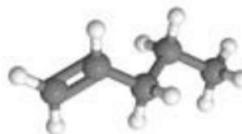
ESTÁ ROTACIONADO PARA



A



B

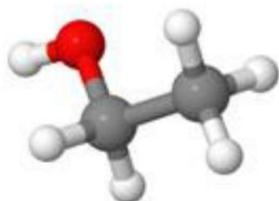


C

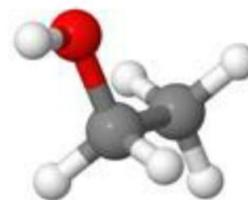


D

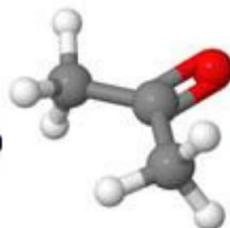
4



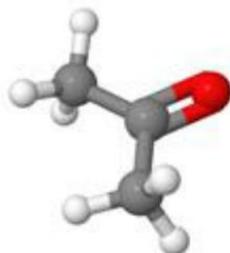
ESTÁ ROTACIONADO PARA



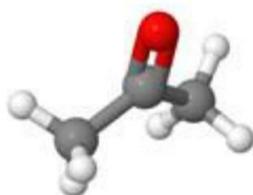
ASSIM COMO



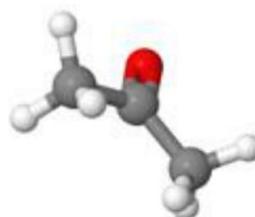
ESTÁ ROTACIONADO PARA



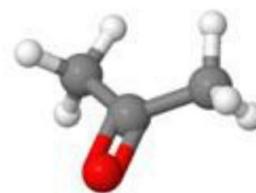
A



B

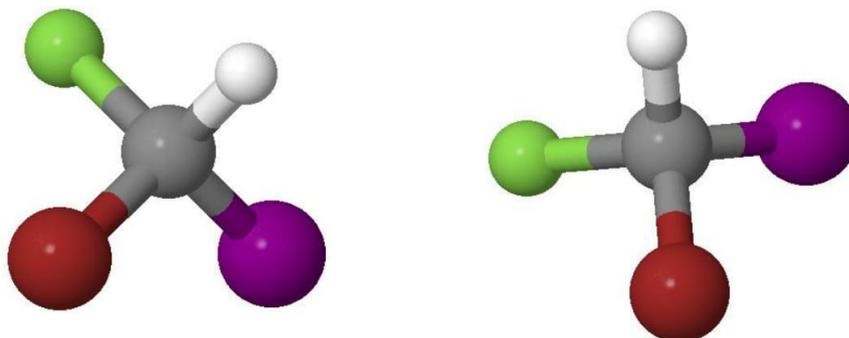


C



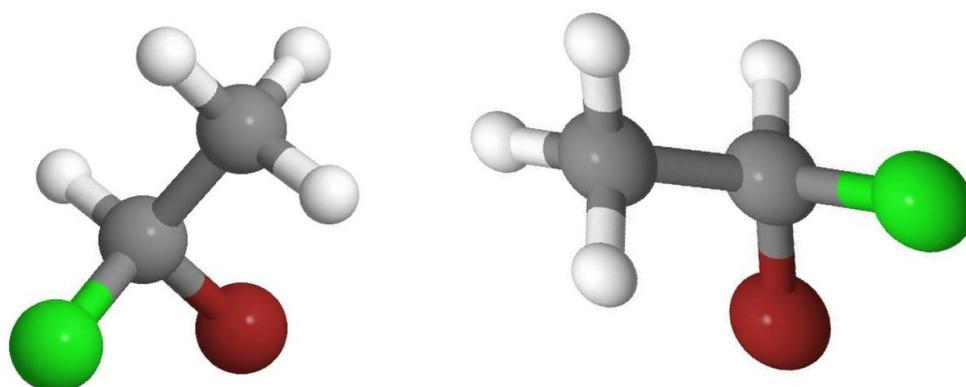
D

5



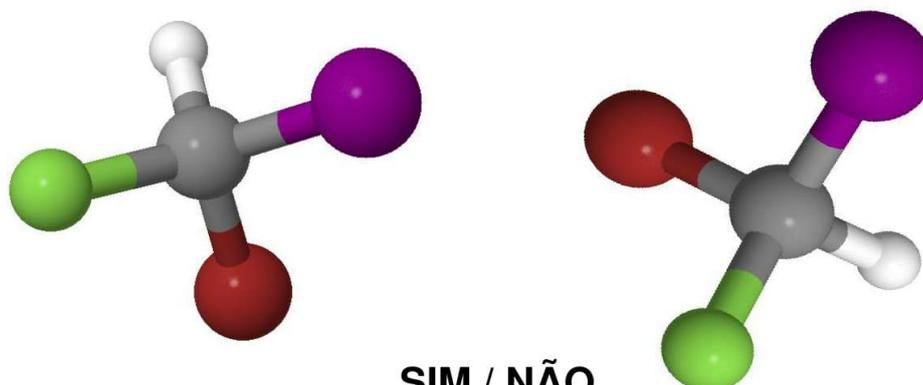
SIM / NÃO

6



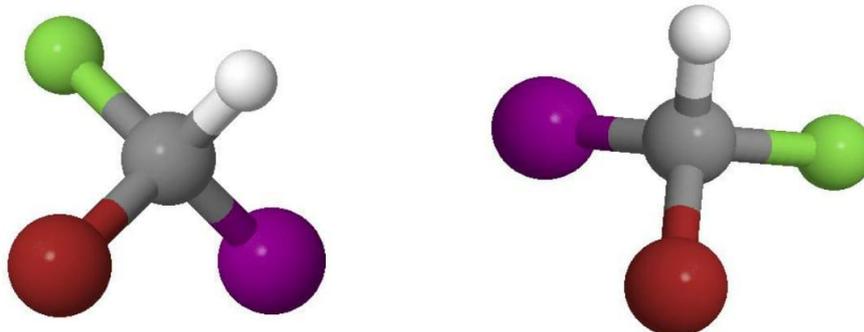
SIM / NÃO

7



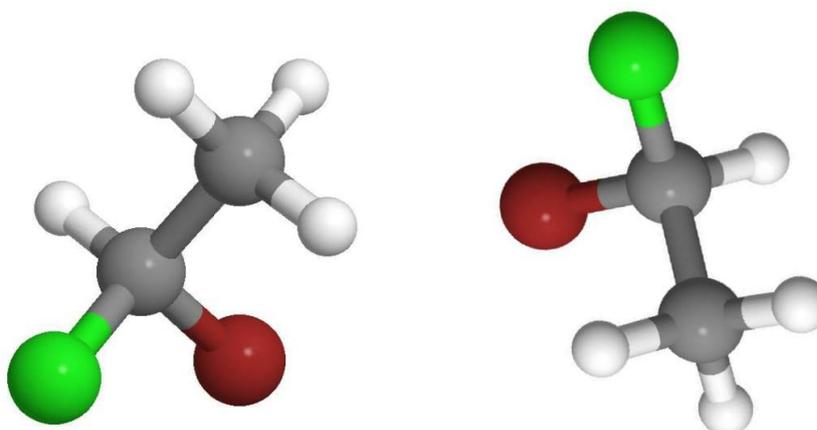
SIM / NÃO

8



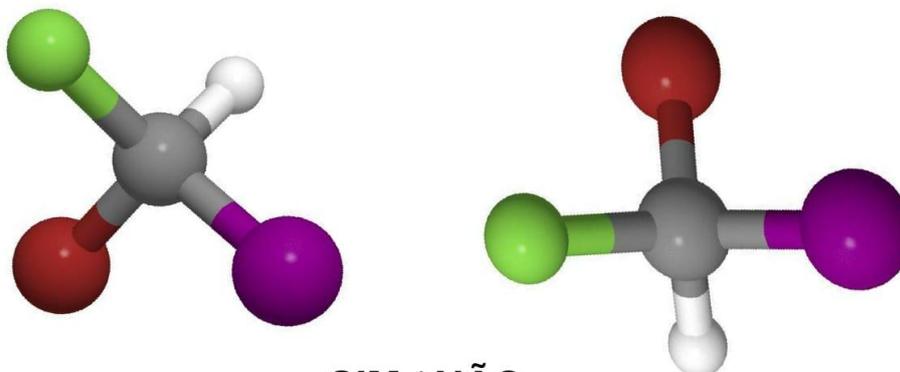
SIM / NÃO

9



SIM / NÃO

10



SIM / NÃO

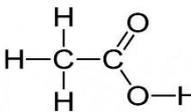
APÊNDICE E – Teste de avaliação da primeira atividade (TE3)

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGECIMA MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática	

Código de identificação do aluno:		
Mestrando: Kleyfton Soares da Silva	Orientador: Dr. Laerte Fonseca	Ano: 2017

OLHANDO PARA A MOLÉCULA QUE VOCÊ CONSTRUIU, RESPONDA:

1) QUAL É A FÓRMULA MOLECULAR DA ESTRUTURA QUE VOCÊ MONTOU?

Por exemplo, a fórmula molecular do  é C₂H₄O₂ ou C₂H₃OOH.

2) CADA TIPO DE ÁTOMO DA SUA ESTRUTURA FAZ QUANTAS LIGAÇÕES?

APÊNDICE F – Fatos históricos relacionados às moléculas estudadas

É encontrada naturalmente em grãos de café, folhas de chá e, em menor medida, na semente do fruto do cacaueteiro, na noz de cola e outras fontes vegetais sobretudo na América do Sul, como em sementes de guaraná.

É um poderoso estimulante do sistema nervoso central, é uma das drogas mais estudadas no mundo.

Assim como a morfina e a nicotina, esse composto é viciador. Entre os sintomas de abstinência estão dores de cabeça, fadiga e sonolência.

Exaustão e fraqueza, inchaço dos braços e pernas, amolecimento das gengivas etc. são exemplos dos sintomas do escorbuto. Uma doença devastadora causada por uma deficiência da molécula do ácido ascórbico.

Previne gripes, fraqueza muscular e infecções.

O corpo humano é incapaz de produzir ou armazenar essa substância, portanto, o consumo diário de alimentos como frutas cítricas são fundamentais para se manter saudável.

O botão de sua flor, seco, é empregado na culinária como condimento para pratos doces, utilizado como especiaria desde a antiguidade e na fabricação de medicamentos.

Algumas pessoas usam para aliviar a dor de dente.

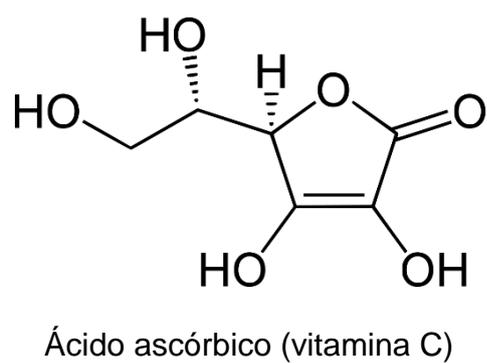
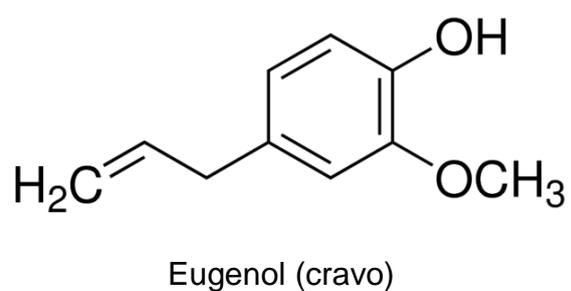
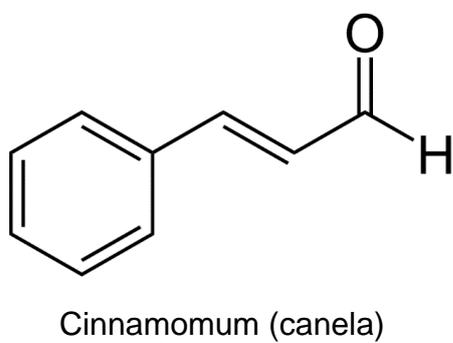
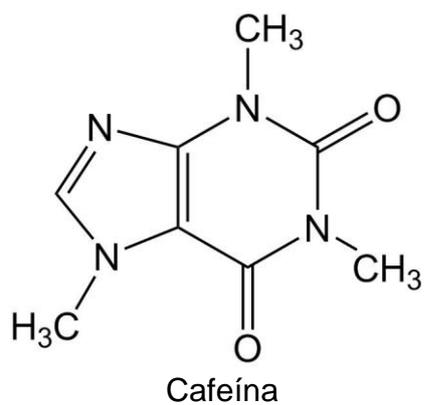
Uma das especiarias mais valorizadas, no mercado do início do século XVI, um quilo dessa especiaria equivalia a sete gramas de ouro.

A aplicação mais óbvia do cinamaldeído é a de aromatizante de certos produtos alimentícios, como gelados, pastilhas elásticas, doces e bebidas.

Substância contida no tronco de uma árvore que tem seus galhos secos separados de suas cascas de cor marrom-avermelhadas, muito perfumadas.

É uma árvore originária do Ceilão, da Birmânia e da Índia e conhecida há mais de 2500 anos a.C. pelos chineses. Seu nome científico, "cinnamomum", segundo referências, é derivado da palavra indonésia "kayu manis", que significa "madeira doce".

APÊNDICE G – Fórmulas condensadas das moléculas estudadas



APÊNDICE H – Atividade Rotação Mental 1, 2 e 3

Atividade Rotação Mental 1 – (ARM1)



Desenvolvendo Habilidades Visuoespaciais em Química

Investigando os efeitos de intervenções didáticas fundamentadas na neurociência cognitiva

Mestrando: Kleyfton Silva

Orientador: Dr. Laerte Fonseca

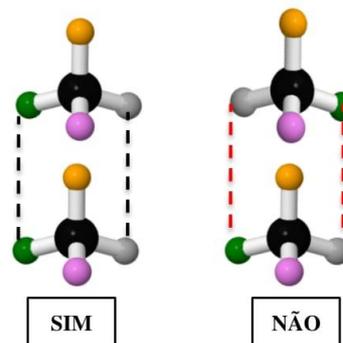
Identificação do aluno: _____ Data ___/___/___ Hora início: _____ Hora fim: _____

Prezado(a) estudante,

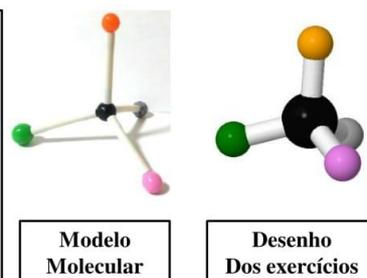
Você está recebendo um conjunto de 6 exercícios de rotação mental de moléculas.

Favor seguir rigorosamente as instruções abaixo:

1) O exercício consiste em comparar duas moléculas e selecionar **SIM** (se as duas moléculas se sobrepõem entre si, ou seja, se as duas moléculas podem ficar com todos os átomos na mesma posição espacial depois que você fizer a rotação) ou **NÃO** (se as moléculas não tem todos os átomos sobreponíveis). Veja o exemplo ao lado:



2) Com a ajuda do modelo molecular que você recebeu verifique se as moléculas dos exercícios possuem disposições espaciais iguais. **Rotacione** o modelo tentando deixar todos os átomos nas posições espaciais idênticas aos do desenho dado no exercício.

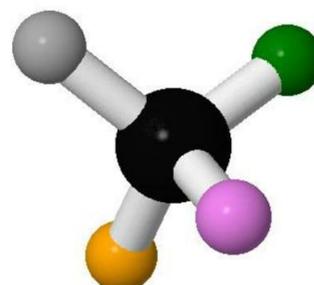
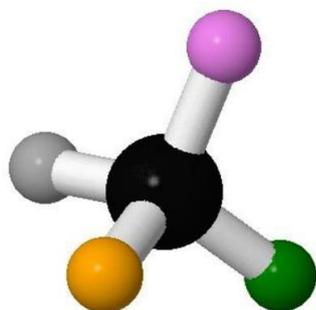


3) Depois que resolver a folha “EXERCÍCIO COM O MODELO EM MÃOS” vire a folha de cabeça para baixo e resolva os mesmos exercícios SEM o modelo molecular em mãos. Esse é o momento mais importante para o treinamento da habilidade de rotação mental de objetos parados. Foque no exercício e treine até se sentir confiante!

Obs: Nenhuma molécula aqui apresentada é a representação de alguma molécula real. As cores não representam algum átomo em específico. O exercício, cujo objetivo é treinar a habilidade de rotação mental, envolve apenas o uso de representações geométricas comumente utilizadas em química.

EXERCÍCIO **COM** O MODELO EM MÃOS

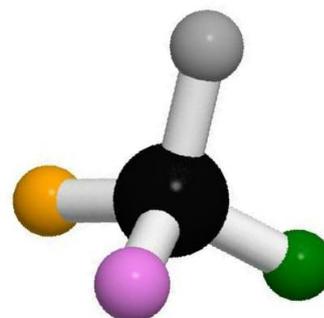
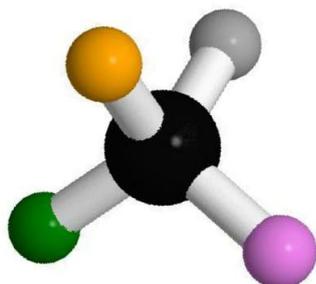
1 SIM / NÃO



O/N / M/S

3

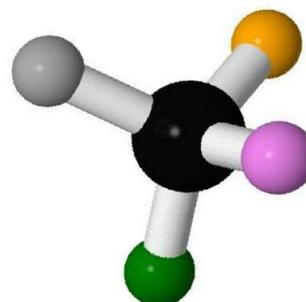
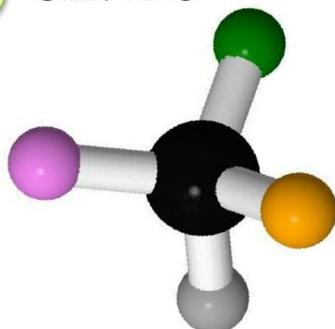
2 SIM / NÃO



O/N / M/S

2

2 SIM / NÃO



O/N / M/S

1

EXERCÍCIO **SEM** O MODELO EM MÃOS

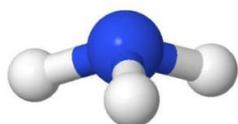
Atividade Rotação Mental 2 – (ARM2)

Identificação do aluno: _____ Data ___/___/___ Hora início: _____ Hora fim: _____

Instruções:

A primeira molécula sofreu uma rotação de modo que ficou na posição da segunda molécula. Como deve ficar a terceira molécula depois de seguir o mesmo raciocínio de rotação da molécula anterior?

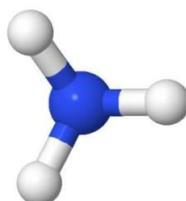
Repita o exercício quantas vezes achar necessário para treinar a sua habilidade de rotação de objetos no mesmo plano e em profundidade. Analise os detalhes de profundidade e localização dos átomos, observando se estão para frente, no plano ou para trás da página. Observe qual é a nova posição dos átomos depois que você gira a molécula mentalmente.



ESTÁ ROTACIONADO PARA

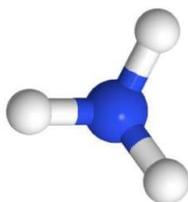


ASSIM COMO

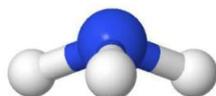
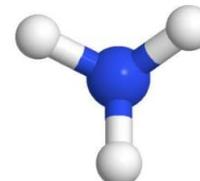


ESTÁ ROTACIONADO PARA

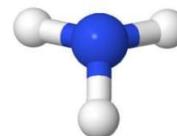
A



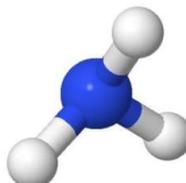
B



ESTÁ ROTACIONADO PARA

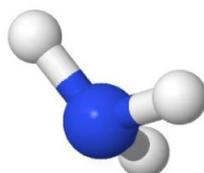


ASSIM COMO

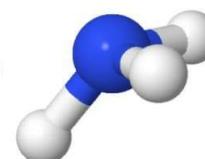


ESTÁ ROTACIONADO PARA

A



B



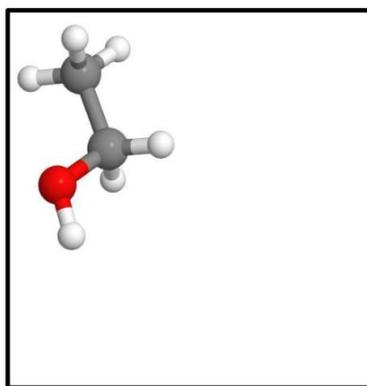
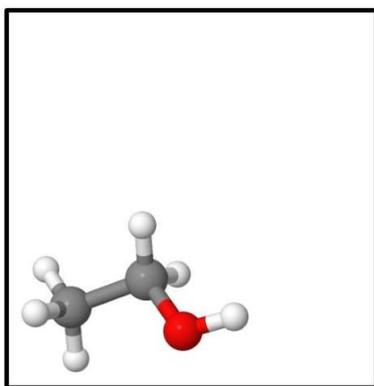
Atividade Rotação Mental 3 – (ARM3)

Identificação do aluno: _____ Data ___/___/___ Hora início: _____ Hora fim: _____

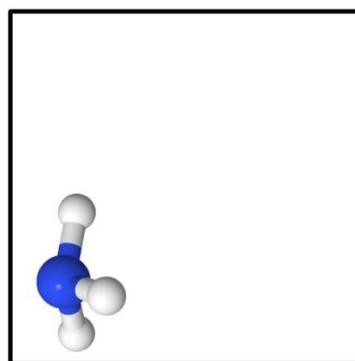
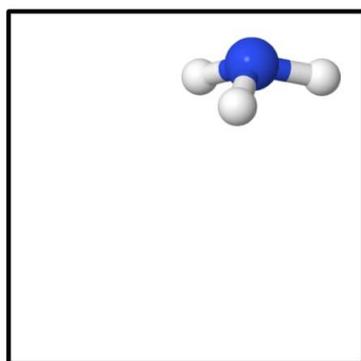
Instruções:

Gire mentalmente a primeira caixa quantas vezes for necessário, para direita ou para a esquerda, e verifique se as moléculas das duas caixas ficam na mesma posição. **Depois de rotacionadas, as duas caixas são idênticas?**

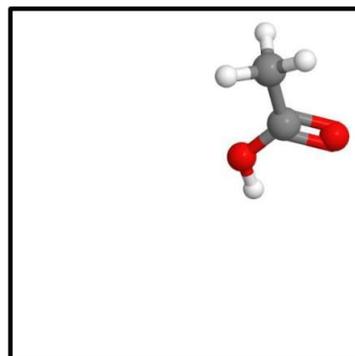
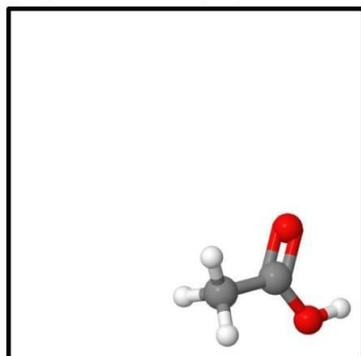
1 SIM () NÃO ()



2 SIM () NÃO ()



3 SIM () NÃO ()



APÊNDICE I – Roteiros de Atividades 1 e 2

Roteiro de Atividades 1 – (RAT1)

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE	
	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGE/CIMA MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática	

Código de identificação do aluno:		
Mestrando: Kleyfton Soares da Silva	Orientador: Dr. Laerte Fonseca	Ano: 2017

ROTEIRO DE ATIVIDADES DE REALIDADE AUMENTADA – RAT1

PARTE A

1) Tarefa 1 (individual): Com o aplicativo Moléculas3D ligado, aponte a câmera do celular para as figuras alvo e escolha a figura que mostra a molécula 3D que você construiu no primeiro encontro.

a) Você tem certeza que escolheu a molécula certa?

Sim () Não ()

b) Se respondeu sim, que detalhe da molécula fez você reconhecê-la?

b) Se respondeu não, por que a dificuldade de se lembrar da molécula?

c) O que você notou de diferente entre a molécula que você está vendo e a molécula que você construiu com bolas de isopor e palitos?

Tarefa 2 (individual): Guarde o telefone... Agora escolha a figura que tem relação com a molécula que você construiu com bolas de isopor e palitos.

a) Que foto você escolheu?

b) Escreva detalhadamente os momentos que fizeram você lembrar que a molécula que você construiu tem a ver com essa foto que você escolheu.

Tarefa 3 (individual): Aponte o celular para o desenho que você escolheu e confira se a molécula é a mesma que aparece na primeira figura que você escolheu. Caso não seja, encontre a figura correspondente.

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGEICIMA
	MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática

Tarefa 4 (individual): De posse do modelo construído no encontro 1, pegue a ficha que contém o desenho da molécula, aponte o celular para ela e descreva as **diferenças** entre o seu modelo e o observado em realidade aumentada.

Tarefa 5 (em grupo): Junto com o seu colega e com a ajuda da realidade aumentada, **corrija** a molécula que você construiu, observando as posições, ligações, cores e quantidades corretas dos átomos. Será disponibilizada uma folha grande com a molécula para facilitar a visualização.

Tarefa 6 (em grupo): Guarde o celular... Olhando para o modelo que você corrigiu discuta com o seu colega sobre a localização de átomos que formam **geometrias TETRAÉDRICAS, TRIGONAI PLANAS e LINEARES**. O professor irá perguntar onde estão essas geometrias e o porquê dessas geometrias.

PARTE B

Tarefa 1 (em grupo): Pegue a tabela periódica e circule somente os elementos que fazem parte das moléculas abaixo:



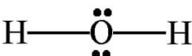
Você circulou 6 elementos na tabela periódica? Apenas observe e comente com seu colega em que **família** eles estão...

Tarefa 2 (em grupo): Vamos desenhar a estrutura de Lewis para essas moléculas. Siga os passos:

1. Usando a tabela abaixo, coloque um átomo no centro e os outros ao redor dele. *Obs: A primeira molécula serve como exemplo.*

2. Preencha os átomos com pontos (elétrons) de acordo com a família dos elementos na tabela periódica. Por exemplo, se um elemento está na Família 4A, ele deve conter 4 elétrons ao redor dele);

3. Faça as ligações entre os átomos com traços, seguindo a regra do octeto (compartilhar elétrons até cada átomo ficar com 8). Cada traço deve tocar 1 elétron de um átomo e 1 elétron do outro. Lembre-se que o H só faz uma ligação e fica com 2 elétrons, não 8!

H ₂ O	BCl ₃
	
NH ₃	CH ₄
CO ₂	
	xxx

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGEICIMA
	MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática

Tarefa 3 (individual): Pegue as fichas com os resultados e verifique se condiz com o que você respondeu. Corrija o que for necessário.

Tarefa 4 (individual): Com muita concentração, selecione uma ficha de cada vez e por um instante **crie uma imagem mental da molécula em 3D em cima do papel** (pense nos átomos como esferas coloridas e as ligações como traços).

Agora aponte a câmera do celular para as fichas e veja se condiz com o que você imaginou.

Tarefa 5 (em grupo): Pegue a ficha H_2O e CO_2 ... Aponte o celular e veja as diferenças nas geometrias dessas 2 moléculas. Analise a ficha e explique porque elas possuem diferentes geometrias.

Tarefa 6 (individual): Pegue a ficha NH_3 e BCl_3 ... Aponte o celular e veja as diferenças nas geometrias dessas 2 moléculas. Analise a ficha e explique porque elas possuem diferentes geometrias.

Tarefa 7 (em grupo): Continue usando o aplicativo e relacione as moléculas com suas respectivas geometrias:

- | | |
|-------------|------------------------|
| (1) NH_3 | () Angular |
| (2) BCl_3 | () Tetraédrica |
| (3) CO_2 | () Trigonal piramidal |
| (4) H_2O | () Linear |
| (5) CH_4 | () Trigonal plana |

Fim das atividades! Parabéns pelo empenho!

Roteiro de Atividades 2 – (RAT2)

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE	
	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGE/CIMA	
	MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA	
	Linha de Pesquisa: Currículo, Didáticas e Métodos de Ensino das Ciências Naturais e Matemática	

Código de identificação do aluno:		
Mestrando: Kleyfton Soares da Silva	Orientador: Dr. Laerte Fonseca	Ano: 2017

ROTEIRO DE ATIVIDADES 2 – RAT2

PARTE A - ALUNO

1) No primeiro encontro você escolheu uma molécula que correspondia a algo comestível. Você lembra a que alimento a molécula que você escolheu corresponde? O que te fez lembrar?

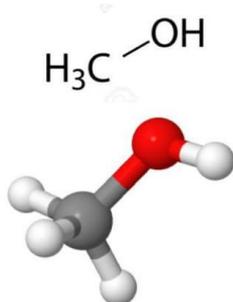
2) O que significa dizer que um determinado produto é feito de “tal” molécula?

3) O que você mais gostou do primeiro momento, onde você construiu uma molécula?

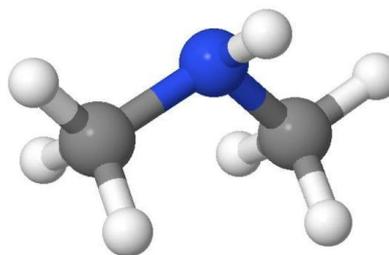
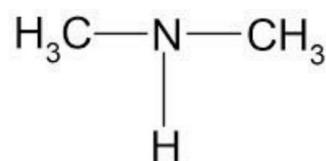
4) O que mais você gostou do segundo momento, onde você usou o aplicativo de visualização de moléculas?

PARTE B – PROFESSOR

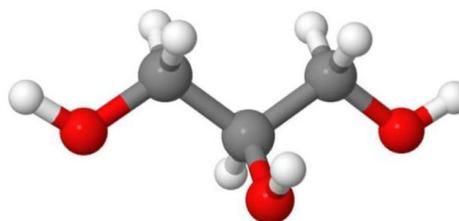
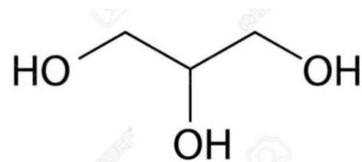
5) Geometrias e tipo de fórmula condensada H_3C :

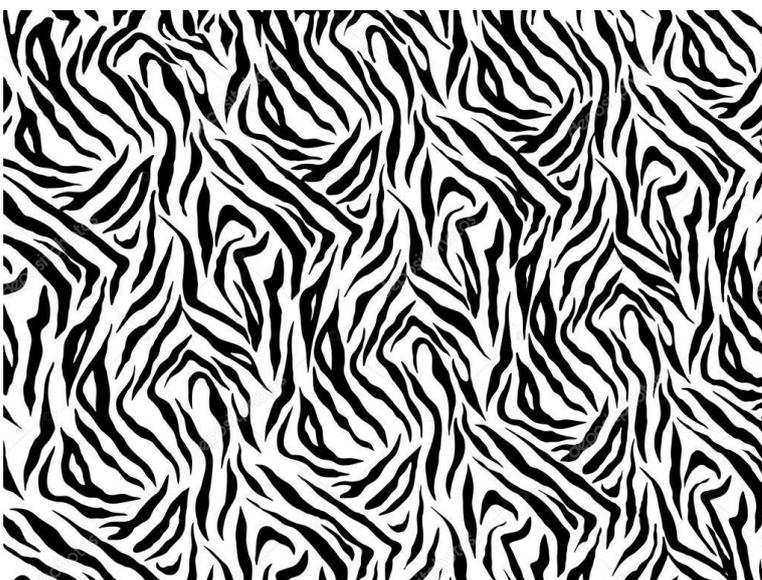
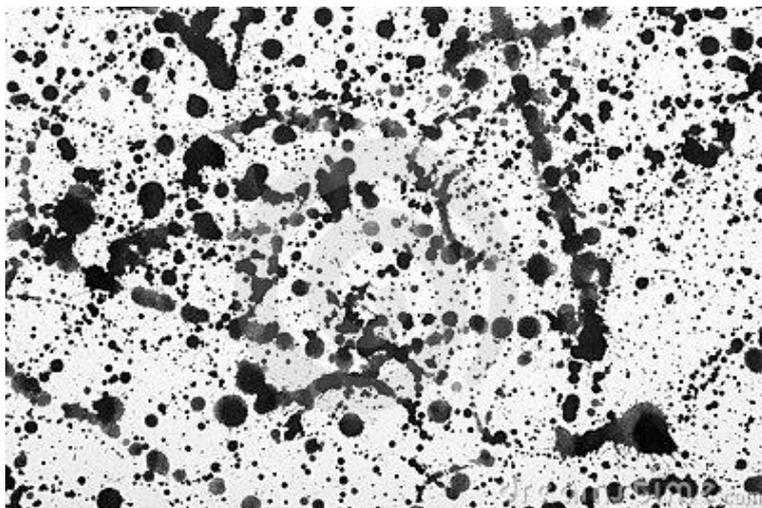


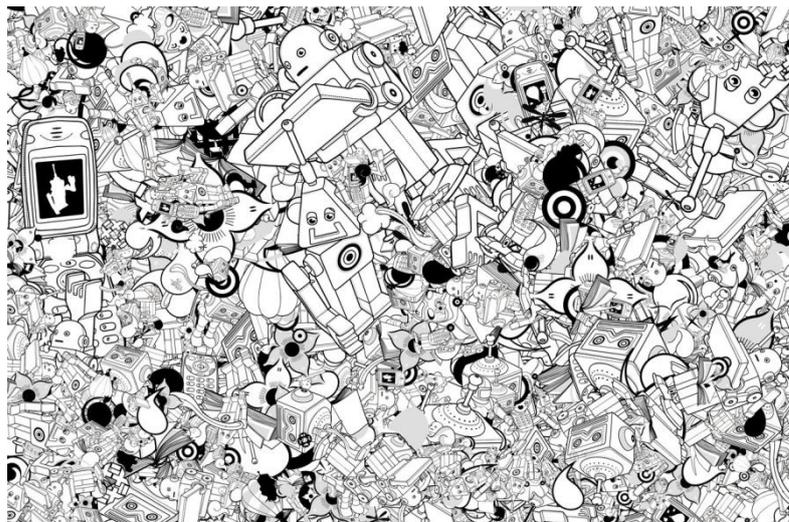
4) Geometrias:



5) Geometrias e tipo de fórmula condensada:



APÊNDICE J – Imagens-alvo (1, 2, 3 e 4) para a aplicação da Realidade Aumentada**ALVOS 1**



Fonte: Google Imagens, Domínio Público.

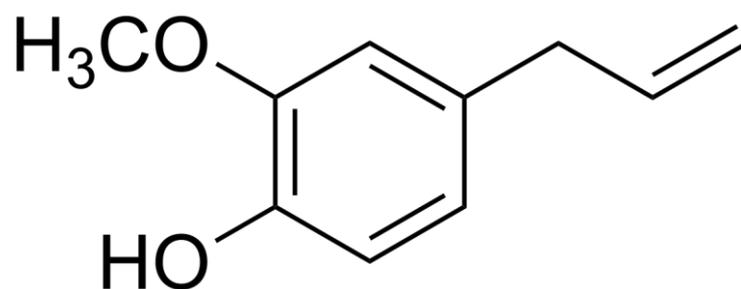
ALVOS 2

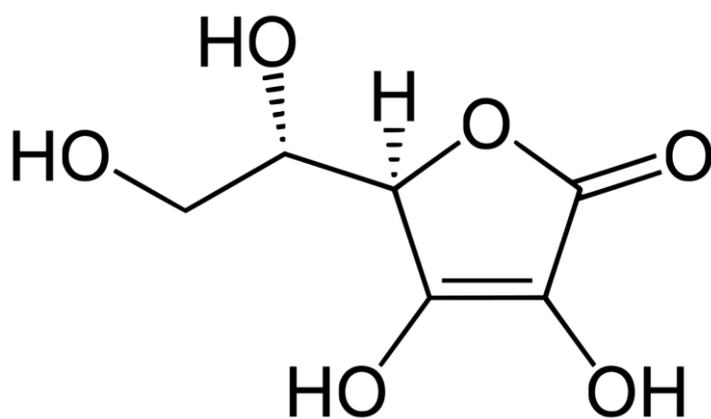
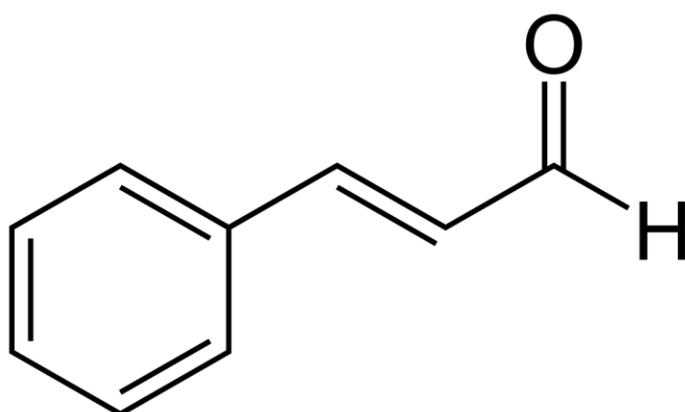
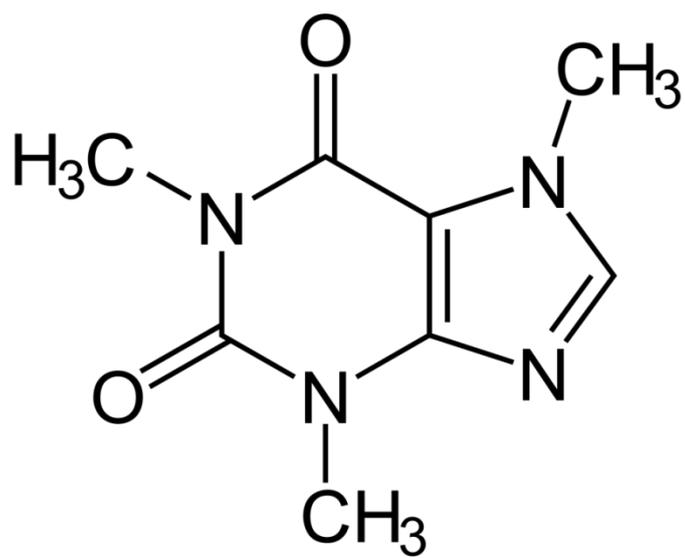




Fonte: Google Imagens, Domínio Público.

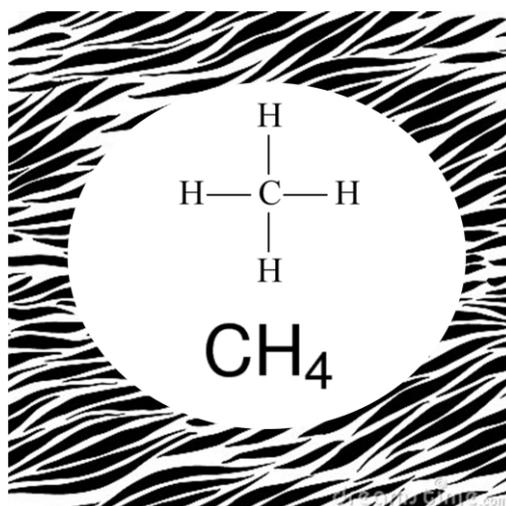
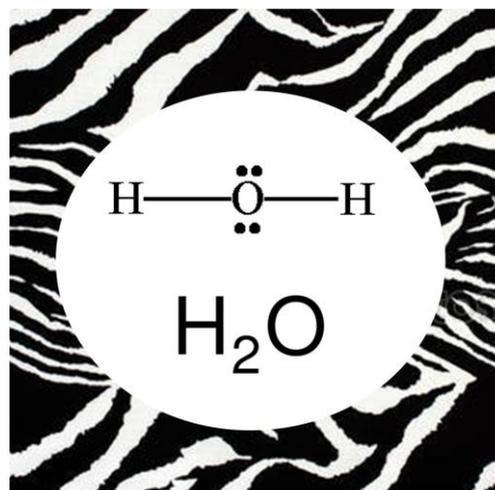
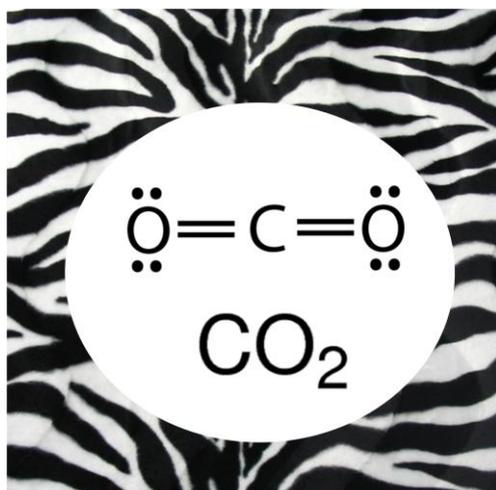
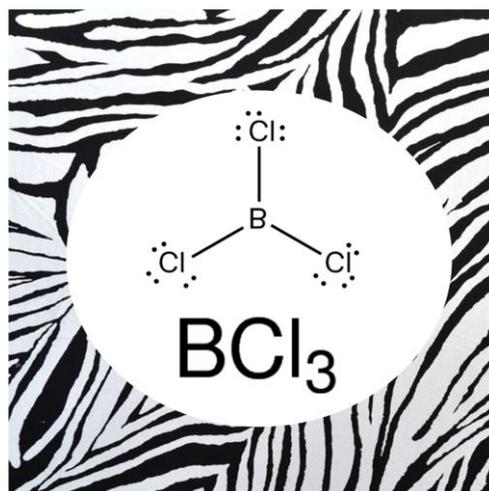
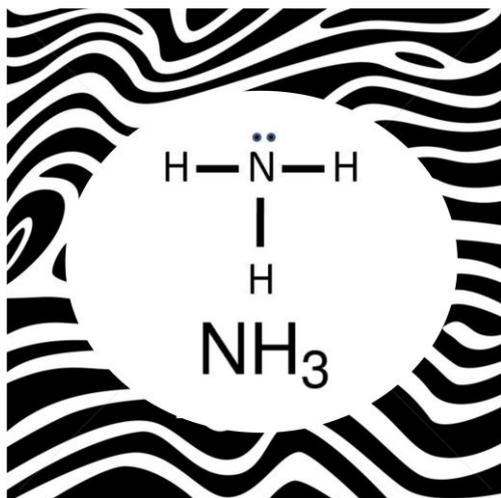
ALVOS 3





Fonte: Google Imagens, Domínio Público.

ALVOS 4



ANEXO A – PEN Principles



PEN Principle

Spacing-Out Practice Enhances Memory



Ψ Psychology

Spacing Effect
Individuals demonstrate enhanced learning, memory, & performance when study/practice is divided into several short sessions distributed over a longer time span rather than one long session done in a short time span.

Improved performance has been demonstrated in both mental and physical domains.

Dunlosky, J. J., & Rawson, S. J. (1999). A meta-analytic review of the distribution of practice effect: Now you see it, now you don't. *Journal of Applied Psychology*, 84(5), 765.

Education

The benefits of spaced practice have been demonstrated in students at all levels across nearly every domain. This ranges from pre-schoolers learning how to read...

...to medical students learning how to perform difficult surgical procedures.

Sedbrook, R., Brown, G. D., & Solly, J. E. (2005). Distributed and massed practice: From laboratory to classroom. *Applied Cognitive Psychology*, 19(1), 107-122.
Moulton, C. A., et al. (2006). Teaching surgical skills: spaced kind of practice makes perfect? *teaching surgical skills*. *Annals of Surgery*, 243(3), 402. doi:10.1097/SLA.0b013e3180160100

Neuroscience

This brain is learning new words in a 'massed' fashion (1 long, continuous study session).

This brain is learning new words in a 'spaced' fashion (4 short, spread out study sessions)

Frontal activity decreases during massed practice leading to impaired learning. Frontal activity increases when study time is distributed across spaced sessions.

Collin, D. E., & Schweighofer, N. (2010). Neural correlates of the spacing effect in explicit verbal semantic encoding support the distributed processing theory. *Human Brain Mapping*, 31(4), 645-657.

Classroom Applications

Though *cramming* may provide short-term gains, spacing out study/practice will improve long-term memory and performance



When preparing for an exam, offering several short practice sessions throughout the term will be more beneficial than one lengthy 'review' session prior to the test date.

Consider adopting a 'circular' curriculum, whereby topics are revisited or reviewed at certain intervals throughout a term rather than only once.



Ideas and Future Questions...

What is the most effective duration between practice/training sessions?
Is it possible the duration can be increased with increased practice/training sessions?



Princípio #4 A prática espaçada aumenta a memória

PSICOLOGIA

Efeito do espaçamento – Indivíduos demonstram aumento de aprendizagem, memória e desempenho quando o estudo/prática é dividido em várias sessões de curta duração distribuídas de um tempo maior do que em uma longa sessão de estudo intenso feita num curto espaço de tempo.

A melhora do desempenho tem sido demonstrada tanto em atividades mentais quanto físicas.

EDUCAÇÃO

Os benefícios da prática espaçada foram demonstrados em estudantes de todos os níveis em quase todos os domínios. Isto acontece tanto para pré-escolares aprendendo a ler ...

... quanto para estudantes de medicina que aprendem a realizar procedimentos cirúrgicos difíceis.

NEUROCIÊNCIA

[imagem, ver original]

Este cérebro está aprendendo novas palavras de uma forma massificada.
(uma sessão longa de estudo contínuo).

[imagem, ver original]

Este cérebro está aprendendo novas palavras de forma espaçada.
(quatro sessões de estudo curtas, distribuídas (ou espaçadas) ao longo do tempo).

A atividade frontal diminui durante a prática em massificada, levando a uma aprendizagem prejudicada. A atividade frontal aumenta quando o tempo de estudo é distribuído ao longo de sessões espaçadas.

APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

Embora estudar de forma massificada possa proporcionar ganhos imediatos, espaçar o estudo/prática proporcionará melhor desempenho e memória de longa duração.

Ao se preparar para um exame, proporcionar várias sessões curtas de prática durante o período de aprendizagem será mais benéfico do que proporcionar uma longa sessão de "revisão" antes da data do teste.

Considere adotar um currículo "circular", segundo o qual os tópicos são vistos novamente ou revisados em determinados intervalos ao longo de um período de aprendizagem, e não apenas uma vez.

IDEIAS E QUESTÕES FUTURAS

Qual é o tempo de intervalo mais efetivo entre as sessões de prática / treinamento?
É possível que a duração possa ser aumentada com sessões de prática / treinamento ampliadas?

PEN Principle

Embrace Error to Improve Learning



Ψ Psychology

Error-Based Learning
Using feedback from mistakes to improve future performance is one of the basic principles of learning seen amongst humans, animals, & machines.

Ford, J. K., & Weisbach, D. A. (1979). Transfer of training: An updated review and analysis. *Performance Improvement Quarterly*, 10(2), 22-41.

Deliberate Practice
Only by effortfully practicing tasks one finds difficult (rather than easy) can one gain 'meta-awareness' of personal skill-sets & advance performance beyond 'novice' and progress to 'expert'.

Ericsson, K. A., Lehmann, R. T., & Tschirhorn, C. (1995). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 102(3), 363.

🍏 Education

Productive Failure
The more a student struggles (and even fails) when learning new info, the more likely s/he will be to recall, transfer, & apply that info to future learning.

Geary, M. (2008). Productive failure. *Cognition and Instruction*, 26(2), 379-404.

VS.

Lessons that guide students to commit & address common errors lead to faster and deeper learning than lessons that try to inoculate students against committing errors.

Loewel, S. J., Sison, E., & Tommerbaum, S. I. (2005). Relearning from mistakes: The impact of guided errors on learning, performance, and self-efficacy. *Human Resource Development Quarterly*, 16(2), 301-322.

🧠 Neuroscience

During learning, low-performers often demonstrate enhanced activity in 'reward' networks following positive feedback (*Nucleus Accumbens*).

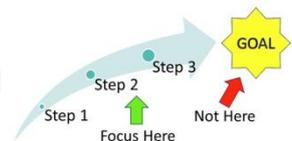
During learning, high-performers often demonstrate enhanced activity in attention & memory networks *only* following errors (*rDLPFC*).

This suggests high-performers attend to informative failure during learning whilst low-performers chase the reward value of success during learning.

Dowson, J., Shuff, M., & David Morningstar, P. (2011). Neural correlates of effective learning in experienced medical decision makers. *PLoS One*, 6(11), e27768.

Classroom Applications

As many students fear making mistakes, it might be worth outlining to them the essential relationship between errors and learning - this can help shift focus from 'success' to 'process'.



Rather than scaffolding lessons to eliminate mistakes, try to allow for (or even encourage) error-making - this will force deeper engagement with material and strengthen learning.

When introducing new content, allow students to consider and interact with the material prior to explicit instruction: this will force errors which may engender questions & prime learning.



Ideas and Future Questions...

How can teachers best model 'error-embracing' to encourage students to do the same?
What can schools do to develop a culture that supports and encourages making mistakes?

Princípio #8 Admita (abraçe) erros para melhorar a aprendizagem

PSICOLOGIA

Aprendizagem baseada em erros - O uso de feedback, ou seja, comentários sobre os erros, para melhorar o desempenho futuro é um dos princípios básicos de aprendizagem observado entre humanos, animais e máquinas.

Prática deliberada - Somente por meio da prática de tarefas que a pessoa acha difíceis (ao invés de fáceis) e que requerem esforço, é possível alguém adquirir metacognição e ter consciência de suas habilidades pessoais e, assim, avançar no desempenho, progredindo de "iniciante" para "especialista".

EDUCAÇÃO

Falha produtiva - quanto mais um aluno se esforça (e até falha) ao aprender novas informações, mais provável será em que ele/ela lembre, transfira e aplique essas informações para futuras aprendizagens.

Lições que levam os alunos a cometer e resolver erros comuns levam a uma aprendizagem mais rápida e profunda do que as lições que tentam evitar que os estudantes cometam erros.

NEUROCIÊNCIA

Durante a aprendizagem, indivíduos com baixo desempenho geralmente demonstram maior atividade em redes neurais de recompensa após feedback positivo (núcleo *accumbens*).

Durante a aprendizagem, indivíduos com alto desempenho frequentemente demonstram uma atividade aumentada em redes neurais de atenção e memória apenas após cometerem erros.

Isso sugere que os indivíduos com alto desempenho prestam atenção a falhas informativas durante o aprendizado, enquanto os que apresentam baixo desempenho buscam o valor da recompensa do sucesso durante a aprendizagem.

APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

Como muitos estudantes temem cometer erros, pode valer a pena esclarecer para eles a relação essencial entre erros e aprendizado - isso pode ajudar a promover o foco do sucesso para o processo.

Ao invés de organizar lições pensadas para evitar erros, tente permitir (ou mesmo incentivar) a ocorrência de erros - isso irá estimular um envolvimento mais intenso com o material e fortalecerá a aprendizagem.

Ao introduzir novos conteúdos, permita aos alunos estudar e interagir com o material antes da instrução explícita: isso irá provocar erros que podem gerar questões e prover o aprendizado.

IDEIAS E QUESTÕES FUTURAS

Como os professores podem formular melhor a prática de "abraçar o erro" para incentivar os alunos a fazerem o mesmo?

O que as escolas podem fazer para desenvolver a cultura que apoia e encoraja o aprendiz a cometer erros?

PEN Principle

Active Recall Trumps Passive Review



Ψ Psychology

What is the capital of Germany?

Active Recall:
The act of retrieving or re-accessing previously learned information without explicitly re-encountering it. Recall has been linked to deep memory formation and enhanced learning / performance.

What is the capital of Germany?
A) Berlin
B) Munich
C) Bern

Passive Review:
The act of simply *recognizing* previously learned information when the info is re-encountered. Review has been linked to shallow memory formation and impaired learning / performance.

Roeiger, H. L. & Karpicke, J. D. (2010). The power of testing memory: Basic research and implications for educational practice. *Perspectives on Psychological Science*, 1(2), 181-210.

🍏 Education

Language students who were asked to actively recall word-pairs during several study sessions outperformed students who were asked to simply re-read and review the same word-pairs by ~50% on a 1-week retention exam.

Karpicke, J. D., & Roediger, H. L. (2008). The critical importance of retrieval for learning. *Science*, 319(5847), 946-949.

English students who were asked to actively recall details from a reading passage outperformed students who were asked to simply re-read and review the same passage by ~20% on 2-day and 1-week retention exams.

McDaniel, M. A., Howard, D. C., & Brinkley, G. O. (2009). The read-recite-review study strategy: effective and portable. *Psychological Science*, 20(4), 314-322.

🧠 Neuroscience

This brain is passively reviewing a list of previously seen words.

This brain is actively recalling a list of previously seen words.

The utilization of more and deeper brain regions during active recall suggests deeper processing and than does simply reviewing and passively recognizing learned information.

Cobassi, R., Kozak, J., Clark, F. J., Mcintosh, A. R., Houde, S., & Tulving, E. (1995). Functional neuroanatomy of recall and recognition: A PET study of episodic memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7(3), 324-345.

Classroom Applications

Active recall strategies include using flashcards with a prompt on one side and the correct answer on the other, asking students to recall & write as much as possible following a reading or lesson (then checking accuracy by reviewing), and the use of low- or no-stakes quizzes or exams that ask students to recall (rather than recognize) material.



Passive review strategies include re-reading passages from a novel or text book, looking over notes taken during a class period, re-writing or copying notes or passages, or re-watching / re-listening to a lesson or lecture.

Ideas and Future Questions...

How can *Recall* and *Review* strategies best work together?
Is there an ideal *Recall-to-Review* ratio to best facilitate deep, accurate memory formation?

Princípio #9 Recuperação ativa supera a revisão passiva

PSICOLOGIA

Recordação ativa – É o ato de recuperar ou re-acessar informações previamente aprendidas sem se deparar com ela explicitamente. Recordação ativa está associada à formação robusta de memória e ao aprimoramento do aprendizado/desempenho.

Recordação passiva – É o ato de simplesmente reconhecer informações previamente aprendidas quando a informação é re-encontrada. A recordação ativa está associada à formação de memória superficial e à dificuldade de aprendizagem/desempenho.

EDUCAÇÃO

Em um teste para avaliar a retenção de informações após uma semana, os alunos de idiomas que foram convidados a se lembrar ativamente de pares de palavras durante várias sessões de estudo superaram, em ~50%, os alunos que foram convidados a simplesmente ler novamente e recordar os mesmos pares de palavras.

Já nos exames de retenção de dois dias e uma semana, os alunos de inglês que foram convidados a recordar ativamente detalhes de uma passagem de leitura superaram, em ~20%, os alunos que foram solicitados a simplesmente ler novamente e recordar a mesma passagem.

NEUROCIÊNCIA

[imagem, ver original]

Este cérebro está passivamente revisando uma lista de palavras previamente vistas.

[imagem, ver original]

Este cérebro está ativamente recordando uma lista de palavras previamente vistas.

A utilização de mais e mais profundas regiões cerebrais durante a recordação ativa sugere um processamento mais consistente do que simplesmente rever e recordar passivamente a informação aprendida.

APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

As estratégias de recordação ativa incluem o uso de flashcards (cartões) com uma dica de um lado e a resposta correta do outro; pedir aos alunos para se lembrar e escrever o máximo possível após uma leitura ou lição (depois verificando a precisão através de uma revisão); e o uso de testes ou exames que pedem aos alunos para lembrar (ao invés de reconhecer) o material.

IDEIAS E QUESTÕES FUTURAS

Como estratégias de evocação ativa de memória e de recordação por reconhecimento podem funcionar melhor juntas?

Existe uma proporção ideal de evocação ativa de memória e de recordação por reconhecimento para melhor facilitar a formação de memória acurada e robusta?

Fonte: *Science of Learning Research Centre*, Austrália. Adaptação e tradução minha.

PEN Principle

First Impressions Colour Future Judgement



Ψ Psychology

The Halo Effect / The Horn Effect
After a favorable / unfavorable first impression, an individual will be positively / negatively predisposed towards all aspects of a particular person, object, or situation.

Nisbett, R. E., & Wilson, T. D. (1977). The halo effect: Evidence for unconscious alteration of judgments. *Journal of Personality and Social Psychology*, 35(4), 250.

Confirmation Bias
After forming an opinion, individuals tend to seek out and/or interpret additional information in a manner that supports the initial opinion.

Nickerson, R. S. (1998). Confirmation bias: A ubiquitous phenomenon in many guises. *Review of General Psychology*, 52(1), 175.

🍏 Education

The Expectancy Effect
The first impression a teacher gets of a student can influence that student's performance. Positive expectations improve performance whilst negative expectations impair performance

Guthrie, D. C., Macchioni, F. M., Brilayer, A. T., & Guthrie, D. C. (1995). Increasing teacher expectations for student achievement. *The Journal of Educational Research*, 88(3), 155-163.

In an experiment, teachers were asked to mark an essay that some were told came from a poor student & others from a strong student. Marks reflected the initial assumption of student quality.

Opitz, E., Haas, C., & Wagner, A. D. (2009). Cognitive control in media multitaskers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37), 15883-15887.

🧠 Neuroscience

When forming a first impression (either negative or positive), the amygdala shows strong activation. The amygdala is the primary driver of emotions.

After forming a first impression, activity in the amygdala decreases and stays low. Amygdala activity increases again when a person changes his/her opinion.

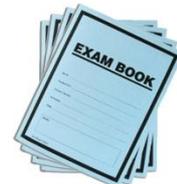
This suggests that first impressions are *emotionally* driven - and that strong 'counter' emotional responses are needed to alter initial impressions.

Brühl, J. P., & Rees, J. S. (2013). Dissociate neural modulation underlying taking first impressions, changing your mind for the better, and changing it for the worse. *The Journal of Neuroscience*, 33(25), 8301-8304.

Schiller, D., Freeman, J. B., Mitchell, J. P., Uleman, J. S., & Phelps, E. A. (2009). A neural mechanism of first impressions. *Nature Neuroscience*, 12(4), 308-314.

Classroom Applications

When grading an assignment / exam with multiple short-answer essays, try not to grade all parts in succession: how you mark early Q's may influence how you view later Q's.



When presenting a new topic or theme, try to *start strong*. A student's experience with the first lesson of the unit will influence how s/he approaches all relevant future lessons.

Try to mark assignments & exams in a 'blind' fashion (*without noting which student's work you are grading*). In this way, you can avoid potential Halo / Horn Effect.



Ideas and Future Questions...

First impressions are *hard* to overcome - but not impossible!
What is the best way to go about changing our (or others') faulty first impressions?



Princípio #10 As primeiras impressões influenciam o julgamento futuro

PSICOLOGIA

O efeito "halo"/ o efeito "horn" - Após uma primeira impressão favorável / desfavorável, um indivíduo vai estar predisposto positivamente/negativamente em relação a todos os aspectos de uma pessoa, objeto ou situação específica.

Viés de confirmação - Depois de formar uma opinião, os indivíduos tendem a procurar e / ou interpretar informações adicionais de forma a apoiar/confirmar a opinião inicial.

EDUCAÇÃO

O efeito da expectativa - A primeira impressão que um professor obtém de um aluno pode influenciar o desempenho desse aluno. As expectativas positivas melhoram o desempenho, enquanto as expectativas negativas prejudicam o desempenho.

Em um experimento, professores foram convidados a avaliar um exame em que alguns desses professores foram informados que um exame veio de um estudante "fraco" e outro de um estudante "forte". A nota refletiu a suposição inicial da qualidade dos alunos.

NEUROCIÊNCIA

Ao formar uma primeira impressão (negativa ou positiva), a amígdala mostra ativação intensa. A amígdala é o principal processador das emoções.

Depois de formar uma primeira impressão, a atividade na amígdala diminui e se mantém baixa. A atividade da amígdala aumenta novamente quando uma pessoa muda sua opinião.

Isso sugere que as primeiras impressões são orientadas pelas emoções – e que respostas emocionais fortes são necessárias para alterar as impressões iniciais.

APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

Ao avaliar uma tarefa / exame que contenha várias respostas dissertativas curtas, tente não avaliar todas as questões sucessivamente: a avaliação/nota que você atribui às primeiras questões pode influenciar a forma como você examinará as questões seguintes.

Ao apresentar um novo tópico ou tema, tente começar de forma intensa, com entusiasmo e convicção. A experiência do aluno com a primeira lição da unidade influenciará a forma como ele/ela aborda todas as lições futuras relevantes.

Tente avaliar/atribuir notas às tarefas e exames de forma "cega" (sem prestar atenção em qual é o trabalho do aluno que você está avaliando). Desta forma, você pode evitar o potencial efeito "halo"/ "horn".

IDEIAS E QUESTÕES FUTURAS

É difícil superar/mudar as primeiras impressões - mas não impossível!
Qual é a melhor maneira de mudar as nossas (e dos outros) primeiras falsas (equivocadas) impressões?

PEN Principle

Find the Story Behind the Facts



Ψ Psychology

Stories allow for individuals to *simulate* experience. This leads to higher levels of emotion, engagement, empathy & motivation than during non-story based information presentation.

Mar, R. A., & Orlitzky, V. (2008). The function of fiction is the abstraction and simulation of social experience. *Perspectives on Psychological Science*, 3(2), 175-192.

Individuals presented with information contextualized within a story recalled ~60% more facts & showed better overall comprehension and transfer than individuals presented with the same information in isolated chunks.

Bower, G.H., & Clark, M. C. (1981). Narrative stories as mediators for verbal learning. *Psychonomic Science*, 14(16), 181-182.

🍏 Education

Students across all age levels have shown improved learning and memory in fields ranging from geometry to literacy to healthcare when key concepts are embedded within stories.

Cover, B., Enslin, L., Carter, L., & Young, J. M. (2008). Use of a storytelling context to improve girls' and boys' geometry skills in kindergarten. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 29(1), 59-66.
Houston, T. K., Alborn, J. J., Swanson, M., Harris, W., Mullis, C. L., Trobaugh, J., ... & Hubbell, S. (2011). Culturally appropriate storytelling to improve social pressure transmission risk. *Annals of Internal Medicine*, 154(2), 77-84.

A survey of students showed overwhelming support for the use of stories during lessons. Stories not only improved engagement & enjoyment, but also led to more insight and a broader understanding of concepts.

Jarvis, D. (2007). Once upon a time... Storytelling to Enhance Teaching and Learning. *Canadian Journal of Distance Education*, 22(1), 30-35.

🧠 Neuroscience

This Brain is listening to a series of isolated facts

This brain is listening to the same facts weaved into a narrative.

This suggests presenting facts in a unified story (as opposed to in isolation) activates far more neural regions; including those pertaining to sensation, emotion, memory, and mentalization

Yankovits, T., Speer, N. K., & Buckle, J. M. (2008). Neural substrates of narrative comprehension and memory. *NeuroImage*, 41(4), 1488-1492.
Mar, R. A. (2011). The neural bases of social cognition and story comprehension. *Annual Review of Psychology*, 62, 103-134.

Classroom Applications

When possible, try to introduce difficult and/or didactic facts by presenting the 'background' story - this will help students contextualize and personalize potentially dry material.



Use stories from your own life or ask students to present stories from theirs in order to increase engagement with and deeper consideration of relevant topics.

Ask students to construct a fictional story around a set of related facts - this will aid memorization and help students uncover similarities and/or differences between concepts.



Ideas and Future Questions...

What are the components of an effective story?
 Which different story-types best suit different types of facts (eg historical vs procedural)?



Princípio #11 Encontre a história por trás dos fatos

PSICOLOGIA

As histórias permitem aos indivíduos simular experiências. Isso leva a níveis mais altos de emoção, engajamento, empatia e motivação do que durante a apresentação de informações que não tenham como referência uma história.

Os indivíduos que obtiveram informações contextualizadas em uma história recordaram ~ 60% mais fatos e mostraram uma melhor compreensão e transferência global do que os indivíduos que obtiveram a mesma informação em partes isoladas sem contextualização.

EDUCAÇÃO

Estudantes em todos os níveis de idade mostraram melhor aprendizado e memória em campos que vão desde a geometria até a alfabetização e os cuidados com a saúde quando os conceitos-chave estão incorporados dentro de histórias.

Uma pesquisa com estudantes deu apoio contundente para o uso de histórias durante as aulas. As histórias não só melhoraram o engajamento e proporcionaram mais prazer, mas também levaram a maior "insight" e a uma compreensão mais ampla dos conceitos.

NEUROCIÊNCIA

[imagem, ver original]

Esse cérebro está ouvindo uma série de fatos isolados.

[imagem, ver original]

Este cérebro está ouvindo os mesmos fatos misturados em uma narrativa.

Isso sugere apresentar fatos em uma história unificada (ao contrário de isoladamente) ativa muito mais regiões do sistema nervoso; incluindo aquelas relacionadas à sensação, emoção, memória e mentalização.

APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

Quando possível, tente introduzir fatos difíceis e/ou didáticos apresentando a história de fundo - isso ajudará os alunos a contextualizar e tornar pessoal um material potencialmente complexo (difícil ou desinteressante).

Use histórias de sua própria vida ou peça aos alunos para apresentar histórias sobre eles, a fim de aumentar o engajamento e a análise mais profunda em relação aos tópicos relevantes.

Peça aos alunos que construam uma história de ficção em torno de um conjunto de fatos relacionados - isso ajudará a memorização e auxiliará os estudantes a descobrir semelhanças e / ou diferenças entre os conceitos.

IDEIAS E QUESTÕES FUTURAS

Quais são os componentes de uma história eficaz?

Quais diferentes tipos de histórias melhor se adequam aos diferentes tipos de fatos (por exemplo, histórico vs procedural)?

ANEXO B – Tabela Periódica

1 1A																	18 O	
1 H 1,0	2 2A																2 He 4	
3 Li 6,9	4 Be 9												5 B 10,8	6 C 12	7 N 14	8 O 16	9 F 19	10 Ne 20,2
11 Na 23	12 Mg 24,3	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 7B	9 7B	10 7B	11 1B	12 2B	13 Al 27	14 Si 28,1	15 P 31	16 S 32,1	17 Cl 35,5	18 Ar 39,9	
19 K 39,1	20 Ca 40,1	21 Sc 45	22 Ti 47,9	23 V 50,9	24 Cr 52	25 Mn 54,9	26 Fe 55,8	27 Co 58,9	28 Ni 58,7	29 Cu 63,5	30 Zn 65,4	31 Ga 69,7	32 Ge 72,6	33 As 74,9	34 Se 79	35 Br 79,9	36 Kr 83,8	
37 Rb 85,5	38 Sr 87,6	39 Y 88,9	40 Zr 91,2	41 Nb 92,9	42 Mo 95,9	43 Tc 97	44 Ru 101,1	45 Rh 102,9	46 Pd 106,4	47 Ag 107,9	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,8	52 Te 127,6	53 I 126,9	54 Xe 131,3	
55 Cs 132,9	56 Ba 137,3	57 La 138,9	72 Hf 178,5	73 Ta 180,9	74 W 183,8	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,1	78 Pt 195,1	79 Au 197	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222	
87 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227																

58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,2	61 Pm 145	62 Sm 150,4	63 Eu 152	64 Gd 157,3	65 Tb 158,9	66 Dy 162,5	67 Ho 164,9	68 Er 167,3	69 Tm 168,9	70 Yb 173	71 Lu 175
90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237	94 Pu 242	95 Am 247	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 260

Fonte: Google imagens, Domínio público.