



## NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO: ESTRATÉGIAS MULTISSENSORIAIS PARA A APRENDIZAGEM DE GEOMETRIA MOLECULAR

*Neuroscience and Education: Multisensory Strategies for Learning Molecular Geometry*

**Kleyfton Soares da Silva** [kley.soares@hotmail.com]  
*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano*  
*Rodovia GO-118, Setor Novo Horizonte, Campos Belos, Goiás, Brasil*

**Laerte Silva da Fonseca** [laerte.fonseca@uol.com.br]  
*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe*  
*Avenida Engº Gentil Tavares da Mota, 1166, Bairro Getúlio Vargas, Aracaju, Sergipe, Brasil*

### Resumo

Discussões acerca de técnicas e métodos adequados para o ensino de química têm desvelado a potencialidade do uso de recursos alternativos e/ou tecnológicos como mediadores da aprendizagem de conceitos científicos. Nesse sentido, interessa-nos saber que alternativa metodológica pode permitir a aprendizagem de noções de química a partir de recursos de visualização de moléculas tridimensionais. O objetivo desta pesquisa foi investigar os efeitos de recursos pedagógicos, como modelos moleculares físicos alternativos e virtuais (realidade aumentada), na aprendizagem de noções de geometria molecular. Esta investigação, de cunho qualitativo e experimental, foi conduzida de modo a subsidiar o planejamento, elaboração, implementação e análise de uma sequência didática fundamentada em princípios neurocognitivos associados à “memória”. Uma intervenção didática foi desenhada para três momentos, com intervalo de quinze dias entre uma sessão e outra. Participaram das atividades nove estudantes voluntários de 16-17 anos de idade, do 2º ano do Ensino Médio de uma escola particular do Estado de Sergipe. Os resultados revelaram 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.

**Palavras-Chave:** Geometria molecular; Memória; Modelos moleculares.

### Abstract

Discussions about appropriate techniques and methods for teaching chemistry have revealed the potential of using alternative and / or technological resources as mediators for learning scientific concepts. Thereby, we are interested in knowing which methodological alternative can allow the learning of chemistry from the visualization resources of three-dimensional molecules. This research aimed to investigate the effects of pedagogical resources, such as alternative and virtual physical molecular models (augmented reality), on the learning of molecular geometry. This qualitative and experimental investigation was carried out to support the planning, elaboration, implementation and analysis of a didactic sequence based on neurocognitive principles associated with "memory". A didactic intervention was designed for three moments, with an interval of fifteen days between one session and another. Nine volunteer students aged 16-17 years participated in the activities. They are from the 2nd year of high school from a private school in the state of Sergipe. The results revealed that: 1) Physical and virtual resources can favour the learning of the molecular geometry and can serve as techniques for assessing students' errors; 2) Methodological procedures that consider brain functioning and the use of sense organs facilitate the consolidation and evocation of long-term memory.

**Keywords:** Molecular geometry; Memory; Molecular models.

## **INTRODUÇÃO**

Discussões acerca de técnicas e métodos adequados para o ensino de ciências têm desvelado a potencialidade do uso de recursos alternativos e/ou 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. Dessa forma, o interesse em pesquisar sobre o tema deste artigo partiu da necessidade de diversificar o ensino de geometria molecular visando um maior desempenho da aprendizagem.

É consensual que os campos da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática exigem do aluno competências representacionais necessárias para o acesso a conceitos complexos. 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, Thompson, Ganis, Newcombe, & Kosslyn, 2008).

As concepções de estrutura atômica, ligações químicas e organização espacial das moléculas são essenciais para a construção de conhecimentos acerca da natureza submicroscópica e macroscópica da química. Assim, a utilização de representações é fundamental para alcançar uma compreensão satisfatória dos saberes químicos em seus diferentes níveis do conhecimento.

Esta pesquisa teve como objeto de estudo a aprendizagem de geometria molecular. Tal recorte está atrelado à necessidade de colocar o problema da aprendizagem em termos de metodologia de ensino, o que proporcionou uma investigação qualitativa mais direcionada à resolução da questão norteadora: Que alternativa metodológica pode permitir a aprendizagem de noções de geometria molecular a partir de recursos multissensoriais?

Embora o fenômeno da aprendizagem possa ser efetivamente abordado na fronteira da psicologia cognitiva e educação, alguns princípios do processamento cerebral da informação alicerçados em estudos neurocientíficos são apresentados, pois é também intenção desta pesquisa difundir conhecimentos da neurociência para inspirar educadores a apreciar essa área como uma alternativa teórica com efetiva aplicação na sala de aula.

Pesquisas no campo da psicologia cognitiva e neurociências, por exemplo, 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 em um 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, Lodge, & Hattie, 2017).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi investigar os efeitos de recursos didáticos, como modelos moleculares físicos alternativos e virtuais (realidade aumentada), na aprendizagem de noções de geometria molecular.

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **Relação entre estratégias de ensino de geometria molecular e a consolidação da memória**

As dificuldades de ensino e aprendizagem de geometria molecular podem estar associadas a fatores didáticos e metodológicos, além daqueles constitutivos do próprio saber, o qual requisita conhecimentos prévios importantes para a sua compreensão. Por exemplo, a estrutura atômica, distribuição eletrônica e ligações químicas são tópicos imprescindíveis para o desenvolvimento de concepções científicas acerca das noções de geometria molecular.

O processo de aprendizagem de química pode ocorrer a partir de diferentes abordagens metodológicas, no entanto, a aquisição e consolidação da memória são objetivos importantes para uma aprendizagem significativa, independentemente da ordem ou formato de apresentação de um dado conteúdo. Pensar na aprendizagem em termos de consolidação de memória é abrir espaço para

intervenções pedagógicas que consideram aspectos psicológicos, tais como a emoção, atenção e memória, no processo de aquisição de conhecimentos.

Em matéria de aprendizagem das noções de geometria molecular, os caminhos possíveis para a codificação e consolidação da memória envolvem aspectos semânticos e visuoespaciais, uma vez que há habilidades representacionais a serem desenvolvidas nos estudantes. Nesse sentido, pesquisas sobre o ensino de geometria molecular (Gibin & Ferreira, 2010; Martins, Freitas, & Vasconcelos, 2020) mostram uma tendência para a utilização de recursos manipuláveis, como modelos moleculares físicos e digitais, na tentativa de minimizar as dificuldades constitutivas do saber em questão.

Na perspectiva do ensino visando o desenvolvimento de habilidades representacionais por meio de recursos dinâmicos, Bousoon (2015), Ramos (2015) e Silva (2016) apresentam resultados que levam a inferir que, em pesquisas relacionadas à aprendizagem de geometria molecular, o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais é uma característica cognitiva significativa para a aquisição de competências representacionais (Martina, 2017). Indo na contramão, é importante notar que “*alguns livros didáticos não consideram mecanismos cognitivos de aprendizagem de múltiplas representações referentes a modelos moleculares (não ilustram representações variadas e seus significados)*” (Silva, Fonseca, & Freitas, 2018, p. 626). Tal questão é preocupante porque o estudante precisa gradualmente conhecer diferentes formas de representar o conhecimento químico e, neste caso, perceber que a representação bidimensional e tridimensional de uma molécula pode levar a processos perceptivos distintos. Por exemplo, a representação bidimensional de Lewis da molécula de metano estimula, provavelmente, a recuperação de memórias associadas à distribuição eletrônica e ligações químicas, enquanto a representação 3D dessa mesma molécula pode favorecer a evocação de memórias visuoespaciais, em decorrência da percepção do arranjo tridimensional. Adicionalmente, o estudo da geometria molecular 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.

Tanto o desenvolvimento de competências representacionais – que se enquadram no rol de conteúdos procedimentais – quanto a aquisição de conteúdos conceituais, representam esquemas cognitivos que passaram por processos integrativos de consolidação da memória. Portanto, a manifestação das diferentes formas de aprendizagem é o resultado explícito e implícito de fenômenos psicológicos produzidos pela interação do sujeito com o meio. Ao interagir com modelos moleculares físicos, por exemplo, o estudante que está aprendendo sobre geometria molecular passa a adquirir informações explícitas, como a noção de espacialidade dos átomos explicada pela teoria da repulsão eletrônica, e implícitas, como a noção de profundidade e movimento das moléculas, uma vez que estas informações nem sempre são verbalizadas. Neste caso, a aprendizagem se expressa em forma de pensamentos e comportamentos associados às memórias consolidadas durante e após a referida experiência didática.

Embora o termo “multissensorial” não seja foco de discussão em pesquisas da área, nota-se que prevalece o incentivo à utilização de recursos multissensoriais para favorecer a aprendizagem. Silva (2016), por exemplo, obteve êxito em sua pesquisa de mestrado quando abordou o conteúdo geometria molecular em 3 fases: construindo o conhecimento, consolidando o conhecimento e verificando a aprendizagem. Fundamentada na concepção de aprendizagem significativa de Ausubel (2003), a autora disponibilizou jogos e modelos moleculares físicos durante a fase de construção de conhecimentos como alternativas lúdicas para uma aprendizagem mais significativa. Seguindo a perspectiva da utilização de ferramentas lúdicas para estimular a competitividade e a socialização entre pares, Ripardo, França, Lopes, Silva e Harahuchi (2020) e Souza, Neto, Silva, Silva e Haraguchi (2020) desenvolveram os jogos “uno da geometria molecular” e “dominó geométrico”, respectivamente. Os autores reportaram maior engajamento dos estudantes nas atividades e ganhos de aprendizagem expressivos.

A pesquisa de Silva (2020) traz uma abordagem curiosa e que, de certa forma, vai ao encontro da perspectiva deste artigo, quando relaciona a aprendizagem de geometria molecular por meio de um jogo didático com a Teoria Computacional da Mente. O recurso de aprendizagem é tido como um input que promove o processamento da informação na maquinaria cerebral e gera um conteúdo de saída (*output*), que seria o conhecimento.

Em favor da criação de recursos alternativos, Crestani, Klein e Locatelli (2016) sugeriram uma estratégia para construir moléculas: utilizar balas de gomas como supostos átomos a serem ligados com o auxílio de palitos de dente. Embora as autoras não tenham focado nos efeitos da utilização do item alimentício em si, pode-se afirmar que houve estratégia multissensorial, uma vez que balas de gomas e

suas qualidades gustativas e olfativas podem ser associadas à aprendizagem do conteúdo escolar, ainda que em nível de criação de memórias episódicas.

Pesquisas recentes têm reforçado a importância da utilização de recursos tecnológicos para facilitar a compreensão dos estudantes, principalmente quando se trata de estudos de modelos moleculares tridimensionais. Loreçon (2019), Almeida e Lima (2020), por exemplo, criaram recursos para a visualização de moléculas em 3D de uma forma mais facilitada. Enquanto a primeira autora mencionada desenvolveu um aplicativo de celular, os demais criaram uma plataforma física para a simulação de moléculas por meio de hologramas.

Percebe-se, a partir dessa breve revisão, que há de maneira generalizada uma necessidade de manipulação de objetos físicos para a aprendizagem de geometria molecular. De fato, a natureza visuoespacial deste conteúdo requisita recursos físicos e manipuláveis para uma melhor aquisição de conhecimentos. Há de se considerar, portanto, que mesmo de forma não intencional – em termos teóricos e metodológicos – os autores privilegiaram vias multissensoriais como a audição, visão e tato em suas práticas pedagógicas.

Extraí-se do contexto, portanto, que estratégias multissensoriais não devem ser pensadas apenas para a educação infantil, mas para todos os níveis de escolaridade, uma vez que o processamento das informações e sua consolidação na memória de longo prazo depende de variações, ainda que pequenas, dos estímulos e das formas de interação do sujeito com o meio.

### **Aprendizagem e memória**

A aprendizagem enquanto tema de discussão no âmbito educacional tem provocado, cada vez mais, profissionais de campos diversos do conhecimento. Compreender os processos pelos quais o ato de aprender se concretiza é o principal interesse da psicologia educacional, a qual pode se beneficiar também de pesquisas da neurociência cognitiva. Não surpreendentemente, o cérebro é o órgão do sistema nervoso central onde ocorrem a memória e a aprendizagem.

É importante salientar que existe diferença entre memória e aprendizagem. Enquanto a memória está ligada às representações cerebrais duradouras que são refletidas em pensamentos, experiências e comportamentos, a aprendizagem refere-se ao processo de aquisição dessas representações (Gage & Baars, 2018). Assim, considera-se que a aprendizagem ocorreu quando acontece a recordação de eventos, processos, conhecimentos presentes no sistema nervoso – principalmente no cérebro – em forma de engramas de memórias.

Nesse sentido, a preocupação de educadores repousa no fato da aprendizagem poder ocorrer de forma mecânica ou significativa (Ausubel, 2003). Neste último caso, é pertinente pensar, na perspectiva das ciências cognitivas, que o ser humano desenvolve esquemas cognitivos ao longo da vida. Esquema é um sistema de conhecimentos em larga escala que nos permite decodificar o ambiente ao nosso redor e usar conhecimentos prévios para resolver problemas do cotidiano (Gage & Baars, 2018). Dessa forma, o esquema é como um nível superior de memória, passível de mudanças.

A noção de esquema neste contexto é importante porque a aprendizagem escolar pressupõe níveis mais elaborados de corpos de conhecimento, como a criação de esquemas cognitivos para resolver conflitos mais estruturados. Isso quer dizer que quando falamos em aprendizagem de geometria molecular, estamos falando da aquisição de conhecimentos conceituais e, conseqüentemente, da consolidação de memórias de forma elaborada, visando a criação de esquemas cognitivos para a compreensão dos fenômenos que nos cercam. Isso é também o que podemos chamar de aprendizagem significativa.

Sabe-se que a aquisição de conhecimentos depende da decodificação dos sinais do ambiente captados pelo sistema sensorial. Os esquemas cognitivos, por exemplo, podem ser reestruturados a partir dos estímulos do ambiente e das memórias preexistentes. Em van Kesteren e Meeter (2020), podemos verificar três fases principais da formação de memórias: codificação, consolidação e recuperação.

A codificação é o processo pelo qual as áreas cerebrais especializadas regulam e registram as informações a serem recuperadas no futuro. Nessa fase, há estratégias pedagógicas que podem potencializar a codificação de novas informações. van Kesteren e Meeter (2020) apontam a técnica de elaboração mental como um método eficaz, que significa buscar na memória conhecimentos prévios que podem ser conectados com a nova informação. Assim, perguntas do tipo “o que eu já sei sobre isso?” e “como isso pode ser associado com o que já sei?” são essenciais para uma elaboração mental eficaz.

A consolidação é a fase em que as novas informações adquiridas passam por um processo de maturação. Isso quer dizer que nem tudo que o cérebro codifica fica armazenado por muito tempo. Para consolidar memórias de uma forma mais robusta, uma estratégia pedagógica é dividir o estudo/prática em sessões reduzidas distribuídas em um maior intervalo de tempo, em vez de estudar todo o conteúdo em um curto espaço de tempo (Donovan & Radosevich, 1999).

A recuperação se dá pelo acesso de memórias de longo prazo e seu processamento em nossa memória de trabalho consciente. Brown, Roediger III e McDaniel (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. Por exemplo, a utilização de quizzes pode estimular a recuperação de memórias e sua reconsolidação. Vale ressaltar que quanto mais se revisa/recupera arquivos da memória de longo prazo, mais fácil essa tarefa se torna.

### **Visão neurocognitiva da memória e a importância de estratégias multissensoriais para uma aprendizagem mais significativa**

A classificação da memória ocorre de acordo com a duração e a natureza da informação armazenada. A memória de curto prazo, 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.

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 a memória do resultado 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, Schwartz, Jessell, Siegelbaum e Hudspeth (2014) apontam 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 *et al.*, 2014, p. 1257).

Quando uma informação resiste ao filtro seletivo da memória de trabalho, ela passa a compor o sistema responsável pelo registro de Memória de Curto Prazo (MCP), que permite 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 Memória de Longo Prazo (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 a formação de MCP não depende.

Do ponto de vista do conteúdo armazenado, 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.

A memória explícita pode, ainda, ser dividida em episódica e semântica, conforme ilustrado em Renoult e Rugg (2020). A memória episódica se refere à eventos com referência temporal. É também conhecida como memória autobiográfica e, portanto, é possível evocá-la com detalhes relacionados ao tempo, espaço e circunstâncias (Gage & Baars, 2018). Já a memória semântica está associada à conhecimentos gerais, atemporais, ou seja, não necessariamente se sabe em que momento um significado ou conceito foi aprendido. Segundo Gage e Baars (2018, p. 218), “*na memória semântica, você não precisa se lembrar da hora e do lugar que aprendeu. Tudo o que você precisa é de uma informação significativa*”.

No âmbito 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. Saliencia-se que, 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*".

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 sistema nervoso central, permitindo o influxo de Na<sup>+</sup> através dos receptores glutamatérgicos AMPA (ácido alfa-amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazol propiônico) e despolarização da membrana pós-sináptica, que ativa o influxo de Ca<sup>2+</sup> através dos receptores NMDA (N-metil D-Aspartato). A transição dos íons Ca<sup>2+</sup> 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 (ácido desoxirribonucleico) até chegar à síntese proteica e produção de alterações morfológicas em sinapses específicas, como o prolongamento neural e intensificação das sinapses (Corrêa, 2010; Lent, 2010; Izquierdo, 2011; Kandel *et al.*, 2014).

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 (ácido gama-aminobutírico), 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 se observa 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 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, Schankler e Beland (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). Nessa perspectiva, Cosenza e Guerra (2011) defendem que a ativação de

múltiplas redes neurais com associações estabelecidas entre si pode ser estimulada por meio de estratégias pedagógicas que façam uso de recursos multissensoriais.

## METODOLOGIA

A estratégia de investigação teve cunho experimental, do tipo participante e baseada em intervenções a partir de atividades didáticas. No planejamento das sequências didáticas, considerou-se analisar as condições necessárias para gerir a execução. Assim, além da indicação das estratégias didáticas, apontaram-se as hipóteses para cada tarefa, na tentativa de controlar as etapas da pesquisa, inclusive lançando previsões/possíveis comportamentos e soluções.

A intervenção didática se deu em três momentos, com intervalo de quinze dias entre uma sessão e outra. Participaram das atividades nove estudantes voluntários com faixa etária de 16-17 anos, do 2º ano do Ensino Médio de uma escola particular do Estado de Sergipe.

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

Foram objetivos do primeiro encontro: 1) Avaliar os conhecimentos prévios relativos à Geometria Molecular (GM); 2) Colocar os alunos em uma situação inicial de aprendizagem para a revisão dos conceitos de ligação química e GM. O Quadro 1 mostra o planejamento das atividades do primeiro momento.

**Quadro 1** – Sequência Didática da sessão I (2 aulas de 50 min cada).

Tarefa	Objetivo	Estratégias didáticas	Hipótese	Possíveis comportamentos/ Solução
T1	Avaliar os conhecimentos prévios sobre GM, respondendo ao pré-teste (TE1 – Apêndice A).	O teste contém questões subjetivas e de múltipla escolha. 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	Contextualizar o ensino de geometria molecular.	<p>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).</p> <p>b) O professor entregará tiras de papel contendo 4 curiosidades/fatos sobre cada substância<sup>1</sup> e, através de discussão coletiva, os alunos deverão relacioná-las com os alimentos correspondentes.</p> <p>c) Serão apresentados aos alunos 4 copos pequenos e tampados contendo 4 essências (cravo da 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>a) espera-se que os alunos criem memórias positivas dos eventos através da estimulação dos sentidos gustativo, olfativo e visual.</p> <p>b) as atividades de leitura e discussão sobre as curiosidades das moléculas propiciam o prazer, engajamento e conceitualização de tópicos através da história dos fatos.</p> <p>c) As informações olfativas são processadas no sistema límbico e favorecem a formação de memórias.</p>	<p>a) os alunos podem não querer degustar os alimentos/ o aluno será solicitado a escolher um alimento sobre o qual ele gostaria de conhecer curiosidades.</p> <p>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.</p> <p>c) os alunos podem não conseguir diferenciar as essências/ o professor perguntará qual foi o alimento que o aluno se interessou e indicará a respectiva molécula.</p>

<sup>1</sup>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 foram extraídos da obra de Coureur e Burreson (2006).

T3	Introduzir o tipo de representação molecular condensada e revisar conceitos de ligações químicas	Os alunos serão divididos em 4 grupos de acordo com a escolha das moléculas feita na tarefa anterior. Será entregue uma molécula (representação condensada) 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)	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.	Alunos podem perguntar onde colocar os carbonos/ o professor poderá indicar que os carbonos estão em cada vértice da molécula. Não dar mais detalhes!  Podem perguntar sobre as ligações tracejadas/ falar que são ligações.
T4	Avaliar como os alunos entenderam a transição da fórmula condensada para a 3D.	Pedir para que os alunos respondam duas questões. Uma para verificar se eles consideraram os hidrogênios ocultos (qual a fórmula molecular da molécula que vocês construíram?) e outra para verificar os conhecimentos sobre ligações químicas covalentes (quantas ligações cada átomo da sua molécula está fazendo?).	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) Caso a molécula tenha sido construída corretamente, espera-se que eles acertem a quantidade de ligações que os átomos fazem. 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.	Ao perceber irregularidades, os alunos podem perguntar o que fazer/ o professor não deverá dar dicas.

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

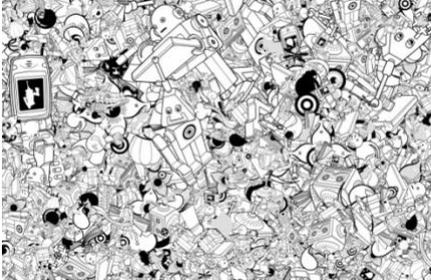
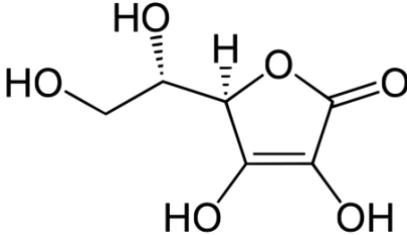
Foram objetivos do segundo encontro: 1) Estimular a reconsolidação de memórias do primeiro encontro quanto às ligações químicas e disposição espacial dos átomos; 2) Revisar conteúdos de ligações químicas e geometria molecular com o auxílio de um aplicativo de realidade aumentada (RA) desenvolvido para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

A realidade aumentada é uma tecnologia de interação virtual com o mundo real. Embora alguns aplicativos de celular 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.

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 no 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.

Foram registrados no aplicativo quatro tipos de moléculas 3D (caféina, canela, cravo e ácido ascórbico) e três imagens-alvo para cada molécula (Quadro 2). Com o aplicativo “*Moléculas3D*” ligado, ao apontar a câmera do celular para qualquer um dos alvos abaixo, as moléculas programadas surgem em três dimensões, sendo possível manipular a câmera ou o objeto impresso sem que a molécula desapareça.

**Quadro 2** – Imagens-alvo 1, 2 e 3 para a molécula ácido ascórbico. Ao apontar a câmera do celular para os alvos abaixo a molécula correspondente aparece em 3D, como mostrado na figura à esquerda.

Molécula 3D que surge na RA	Imagens-alvo relacionadas
 <p data-bbox="389 1012 738 1043">Ácido ascórbico (Vitamina C)</p>	 <p data-bbox="879 595 1289 748">Alvo 1 – Esta figura foi escolhida aleatoriamente para cadastrar a molécula do ácido ascórbico. Ver sua utilidade na Tarefa 1 do RAT1 (APÊNDICE B).</p>
	 <p data-bbox="884 1061 1284 1095">Alvo 2 (Fonte: sauedica.com.br)</p>
	 <p data-bbox="1038 1357 1126 1391">Alvo 3</p>

O procedimento metodológico que considerou o uso da tecnologia de RA é apresentado na Sequência Didática referente ao segundo encontro (Quadro 3).

**Quadro 3** – Sequência Didática da sessão II.

Tarefa	Objetivo	Estratégias didáticas	Hipótese	Possíveis comportamentos/ Solução
T1	Estimular a reconsolidação de memórias do primeiro encontro associadas às ligações químicas e disposição espacial dos átomos.	<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 B) e os quatro alvos 1 para que eles façam a tarefa 1 do roteiro. Para a tarefa 2 e 3, entregar os quatro alvos 2 referentes aos alimentos. Na</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</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 o aplicativo instalado.</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</p>

		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.	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.	precisa tomar um átomo como referência e ver a geometria em torno dele.
T2	Revisar conteúdos de ligações químicas e geometria molecular com o auxílio de um aplicativo de RA.	<b>PARTE B</b> – Na tarefa 1, entregar uma tabela periódica. Na tarefa 3, entregar os cinco alvos 4 contendo as estruturas moleculares de Lewis <sup>2</sup> . Escolher um aluno e pedir que ele fale suas previsões sobre a tarefa 4.	Espera-se que os alunos não demonstrem dificuldades, uma vez que o roteiro leva o aluno passo a passo a realização das tarefas. Na tarefa 5 e 6, espera-se que o motivo indicado seja referente à repulsão dos pares eletrônicos ligantes e 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.

### Análise a priori do terceiro momento (sessão III)

Foram objetivos do terceiro encontro: 1) Estimular a reconsolidação de memórias dos conteúdos e eventos registrados nos encontros anteriores; 2) Expor os objetivos das atividades aos alunos e avaliar a aprendizagem de GM.

Elaborou-se um roteiro de atividades (RAT2, Apêndice C) 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 4.

**Quadro 4** – Sequência Didática da sessão III.

Tarefa	Objetivo	Estratégias didáticas	Hipótese	Possíveis comportamentos/ Solução
T1	Estimular a reconsolidação de memórias dos conteúdos e eventos registrados nos 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 $H_2O$ . 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	Expor os objetivos das atividades aos alunos e avaliar a aprendizagem de GM.	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.	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 quatro, o H uma, o N três e o O duas ligações. c) Espera-se que respondam corretamente sobre a repulsão do par eletrônico não ligante como sendo o responsável pela geometria	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.

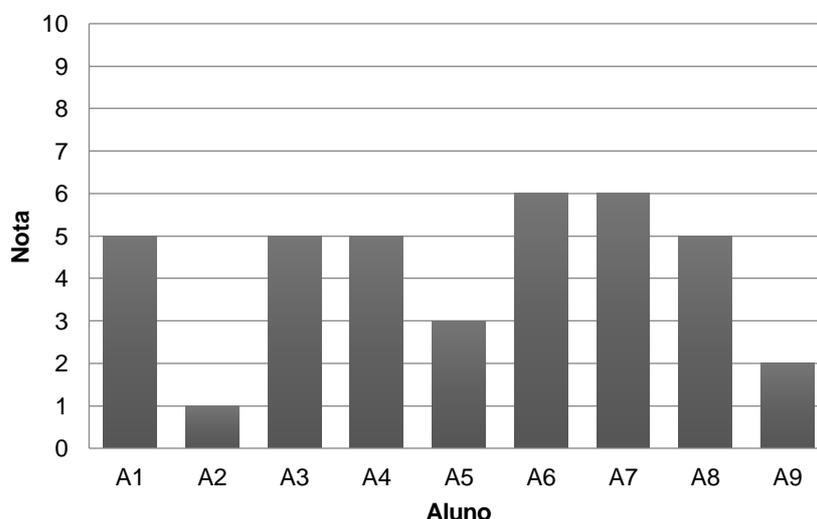
<sup>2</sup>Para cada molécula ( $NH_3$ ,  $BCl_3$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  e  $CH_4$ ) foi criado um alvo (ficha), em que ao apontar a câmera do celular a molécula correspondente aparece em 3D.

		<p>b) Citar os 4 alimentos trabalhados e perguntar aos alunos porque a 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 tetraédrico.</p>	em torno dos átomos citados.	
T3	Avaliar os conhecimentos sobre GM adquiridos no decorrer da intervenção.	Aplicar o TE1 novamente. 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.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

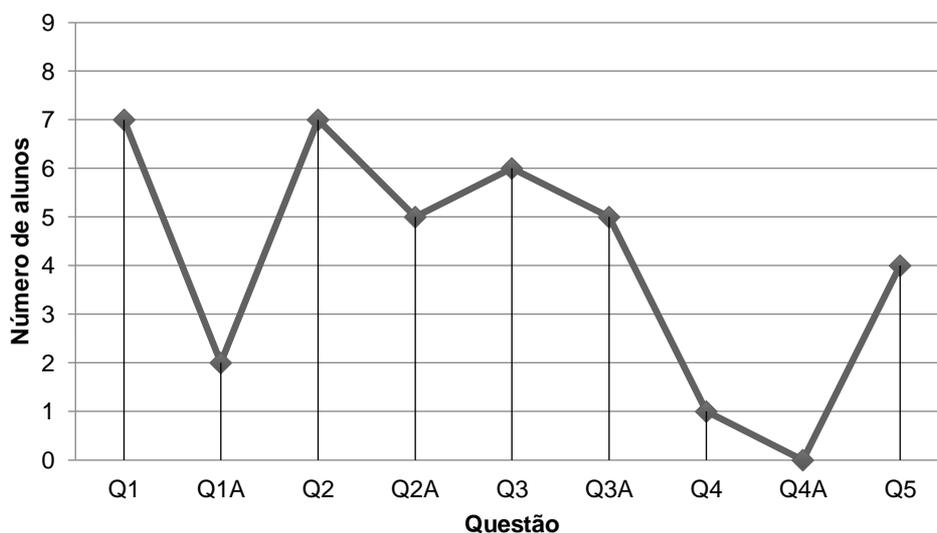
As tarefas realizadas pelos alunos nas três sessões de estudo foram analisadas com o objetivo de identificar e discutir sobre os principais erros e acertos, fragilidades e potencialidades constitutivas da aprendizagem do conteúdo “Geometria Molecular (GM)”.

Os resultados do pré-teste (Figura 1) aplicados na sessão 1 mostram que os alunos possuíam conhecimentos prévios acerca do conteúdo estudado. É importante ressaltar que os alunos voluntários (2º ano do Ensino Médio) já haviam estudado o conteúdo no 1º ano, por isso a existência de conhecimentos prévios.



**Figura 1** – Notas dos 9 alunos obtidas no pré-teste (TE1), cuja amplitude potencial é de 0,0 para 10,0.

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 2 mostra a frequência de acertos de cada questão.

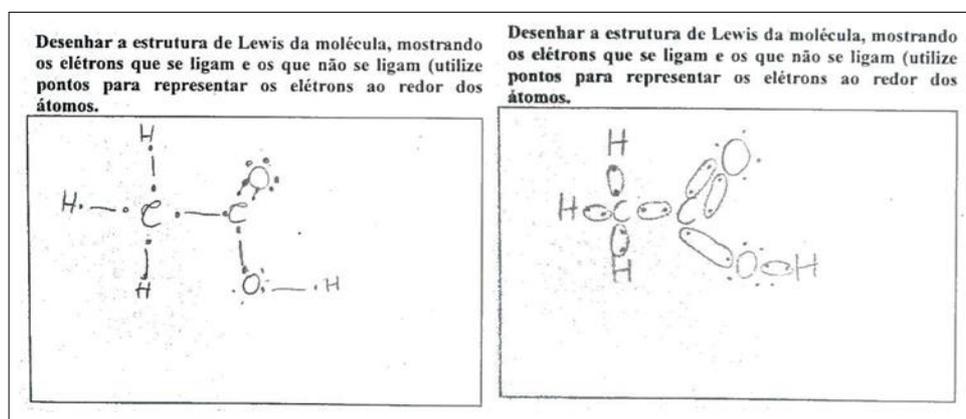


**Figura 2** – Frequência de acertos. As questões Q referem-se às de múltipla escolha, enquanto as questões QA referem-se às abertas.

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  $\text{SO}_3$ .

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



**Figura 3** – Excertos 1 e 2 da questão Q1A dos alunos A6 e A7.

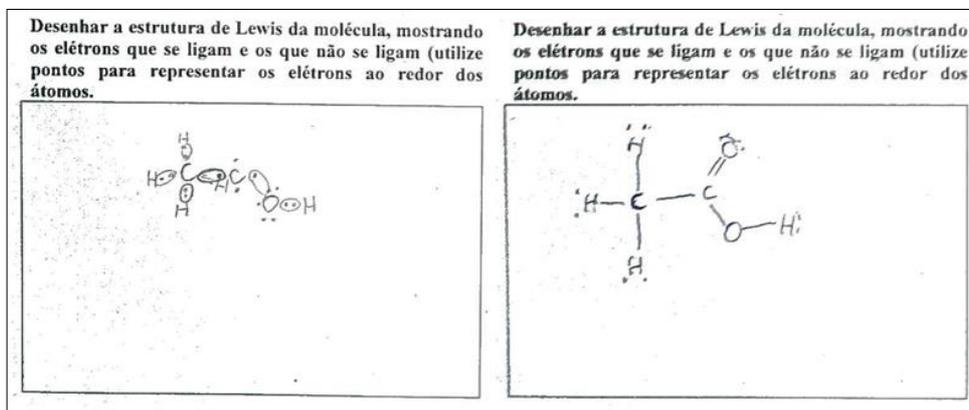


Figura 4 – Excertos 3 e 4 da questão Q1A dos alunos A3 e A9.

Os excertos 5 e 6 (Figura 5) mostram dois exemplos de respostas consideradas corretas e comuns da questão Q2A, dos alunos A6 e A7, respectivamente.

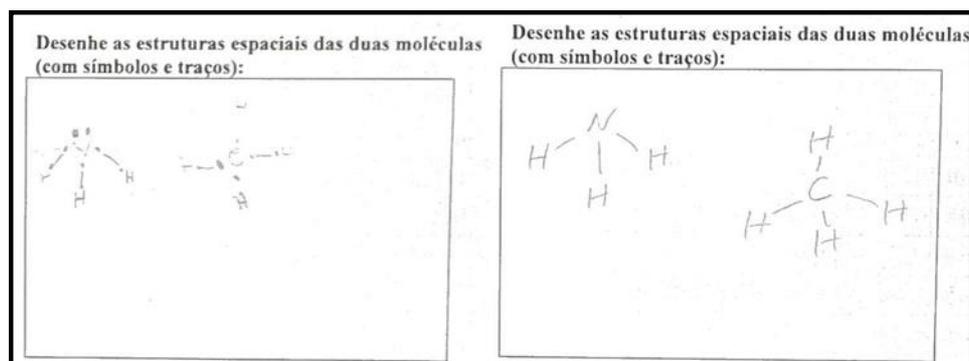


Figura 5 – Excertos 5 e 6 da questão Q2A, alunos A6 e A7.

O excerto 7 (Figura 6) representa os cinco acertos da questão Q3A, pois embora alguns alunos tenham respondido de forma breve, as respostas se aproximam da noção esperada.

**O que determina as diferentes geometrias das duas moléculas, sendo que ambas possuem 3 átomos?**

na molécula de H<sub>2</sub>O, o oxigênio tem essa "nuvem" dos elétrons que sobra com, logo, essa "nuvem" empurra os dois hidrogênios.

Figura 6 – Excerto 7 da questão Q3A, aluno A6.

Relativamente à parte prática, 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 B), 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

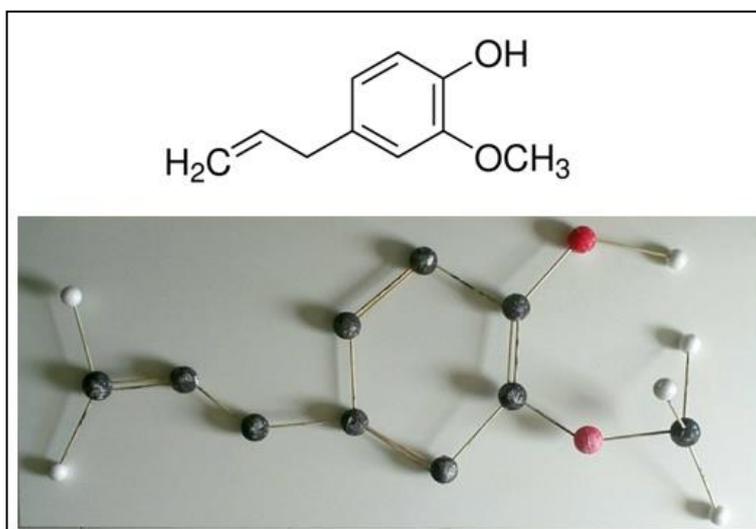
responder. Na sessão III, 77,7% dos alunos afirmaram que a experiência de construir moléculas com bolas de isopor e palitos de churrasco foi a que mais ficou na memória.

A implantação de recursos olfativos e gustativos (odor e degustação de alimentos) serviu para sensibilizar o estudante através de elementos do cotidiano para que posteriormente os eventos emocionais que circundaram a aprendizagem inicial fossem reconhecidos e continuassem elicitando contextos significativos (Herz *et al.*, 2004; Miranda, 2012).

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 adidática, 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 (Figura 7). 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.



**Figura 7** – Representação da molécula do Eugenol (cravo da Índia) em 3D construída pelo grupo 3 (G3).

O modelo de Martina (2017) é coerente com pesquisas bem consolidadas sobre a memória. A técnica de repetição espaçada (Donovan & Radosevich, 1999), 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 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.

Os resultados da sessão também revelaram 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. 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. 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 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. 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 realidade aumentada, 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 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, quando focados na busca por *feedback* positivo (Downar, Bhatt & Montague, 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  $\text{NH}_3$ , 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, Akkuzu & Alpat, 2014). Alguns alunos afirmaram que a molécula  $\text{CO}_2$  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.

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 por que 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 o aluno A5 respondeu que a geometria das moléculas influencia nas propriedades das substâncias.

O objetivo da sessão III 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 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 8).

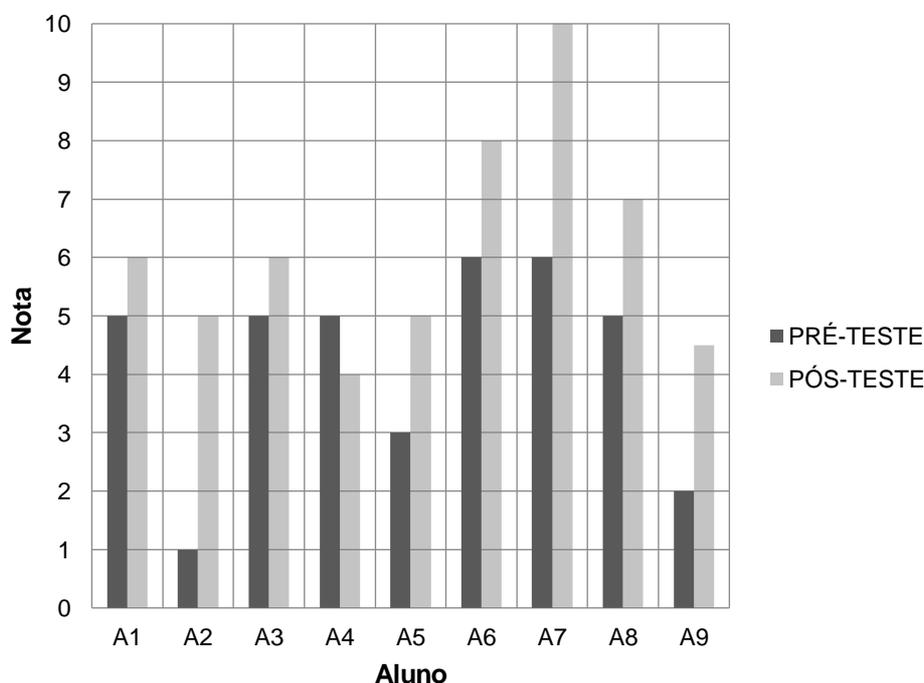
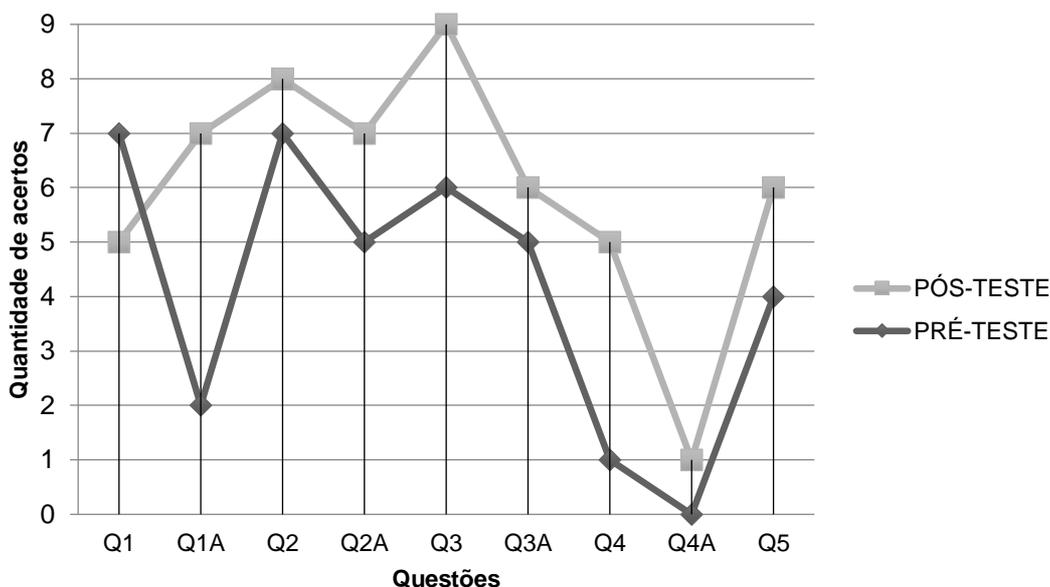


Figura 8 – Comparação de desempenho do pré-teste e pós-teste.

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 didáticas 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 9 mostra a frequência de acertos nas questões do pré-teste e pós-teste sobre GM.



**Figura 9** – Comparação da frequência de acertos no pré-teste e pós-teste do TE1.

A falta de instrução durante a intervenção 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.

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.

Em suma, os principais resultados da pesquisa apontaram que: a) Os recursos multissensoriais proporcionaram melhor engajamento e contribuíram para a evocação de memórias episódicas associadas à aprendizagem de conceitos químicos. Esse fato vai ao encontro da sugestão de van Kesteren e Meeter (2020), quando enfatizam que os estudantes devem se esforçar para criar memórias contendo características episódicas e semânticas; b) 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. O erro conceitual mais proeminente tem a ver com a noção de repulsão eletrônica dos pares de elétrons, em consonância com os achados de Goh e Sai (1992) e Uyulgan *et al.* (2014); c) O processo de aprendizagem pelo método da prática espaçada (Donovan & Radosevich, 1999) contribuiu para a manutenção dos eventos anteriores e, conseqüentemente, para uma elaboração conceitual mais robusta.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 o Ensino de Química na forma de novas práticas pensadas a partir da manipulação de materiais físicos para explicar macroscopicamente as propriedades de materiais diversos.

Respondendo à questão de pesquisa, a alternativa metodológica com a utilização de recursos multissensoriais que proporcionou melhor engajamento foi planejada em três sessões, implementada, controlada e analisada sob princípios neurocientíficos ligados à memória. O desenho experimental e contribuiu 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. Ademais, os alunos puderam se familiarizar com a transição de múltiplas representações que destacam características distintas, como o tamanho relativo e posições espaciais dos átomos vistos no modelo virtual.

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?”.

Com isso, os resultados revelaram que: a) Recursos físicos e virtuais podem favorecer a aprendizagem das noções de geometria molecular e podem servir como técnicas de avaliação dos erros dos alunos; b) 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.

## **Agradecimentos**

Aos alunos participantes e ao Colégio CEME pela permissão e disponibilização do espaço físico para a realização da pesquisa. Às professoras Dra. Leonor Guerra e Dra. Divanizia Souza pelas ricas contribuições enquanto avaliadoras deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## **REFERÊNCIAS**

- Almeida, G. B., & Lima, J. O. G. (2020). Elaboração de holograma para o ensino de geometria molecular. *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista*, 10(1), 73-87. <http://dx.doi.org/10.31512/encitec.v10i1.3010>
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa, Portugal: Edições Técnicas.
- Bouson, J. D. (2015). *Metodologias didáticas alternativas para o ensino de geometria molecular e soluções: estratégias para a construção do conhecimento*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências da Natureza, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. Recuperado de <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/4785/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20J%C3%BAlia%20Bouzon.pdf>
- Brousseau, G. (2007). *Introdução ao estudo das situações didáticas: conteúdos e métodos de ensino*. São Paulo, SP: Ática.
- Brown, P. C., Roediger III, H. L., & McDaniel, M. A. (2014). *Make It Stick: the science of successful learning*. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press.

- Corrêa, A. C. O. (2010). *Memória, aprendizagem e esquecimento: a memória através das neurociências cognitivas*. São Paulo, SP: Atheneu.
- Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: como o cérebro aprende*. Porto Alegre, RS: Artmed.
- Couteur, P. L., & Burreson, J. (2006). *Os botões de Napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história*. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahar.
- Crestani, E. R. M. F., Klein C., & Locatelli, A. (2016). Construção de moléculas com balinhas de goma e o ensino de geometria molecular. In *Anais da II Mostra Gaúcha de Validação de Produtos Educacionais e I Econtro do PIBID de Física/RS*. Universidade Passo Fundo, Rio Grande do Sul, RS. Recuperado de <http://mostragaucha.upf.br/download/artigos-2016/representacao-de-moleculas-com-balinhas-de-goma-e-o-ensino-de-geometria-molecular.pdf>
- Donovan, J. J., & Rasosevich, D. 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), 795-805. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/83d6/9b81075cf6bcd484c80f1ca52a56fb0f186a.pdf>
- Downar, J., Bhatt, M., & Montague, P. R. (2011). Neural correlates of effective learning in experienced medical decision-makers. *PLoS One*, 6(11), e27768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027768>
- Gage, N. M., & Baars, B. J. (2018). *Fundamentals of Cognitive Neuroscience* (2nd ed.). Elsevier Inc: Academic Press.
- Gibin, G. B., & Ferreira, L. H. (2010). A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais. *Química Nova*, 33(8), 1809-1814. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000800033>
- Goh, N. K., & Sai, C. L. (1992). Students' learning difficulties on covalent bonding and structure concepts. *Teaching and Learning*, 12(2), 58-65. Recuperado de <https://repository.nie.edu.sg/bitstream/10497/1716/1/TL-12-2-58.pdf>
- Herz, R. S., Schankler, C., & Beland, S. (2004). Olfaction, emotion and associative learning: effects on motivated behavior. *Motivation and Emotion*, 28, 363-383.
- Horvath, J. C., Lodge, J. M., & Hattie, J. (Eds.). (2017). *From the laboratory to the classroom: translating science of learning for teachers*. New York, United States of America: Routledge.
- Izquierdo, I. (2011). *Memória* (2a ed.). Porto Alegre, RS: Artmed.
- Kandel, E. R., Schwartz, J., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A. & Hudspeth, A. J. (2014). *Princípios de neurociências* (5a ed.). Porto Alegre, RS: Artmed.
- Lent, R. (2008). *Neurociência da Mente e do Comportamento*. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan.
- Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios* (2a ed.). Rio de Janeiro, RJ: Atheneu.
- Lorençon, R. (2019). *Uso de aplicativo como recurso didático para o ensino de geometria molecular*. (Trabalho de conclusão de curso). Curso de Licenciatura em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR. Recuperado de <https://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16246/1/aplicativoensinogeometriamolecular.pdf>
- Martina, A. R. (2017). 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*. (1st ed.). (chapter 9). New York, United States of America: Routledge.
- Martins, M. G., Freitas, G. F. G., & Vasconcelos, P. H. M. (2020). A dificuldade dos alunos na visualização de moléculas em três dimensões no ensino de geometria molecular. *Conexões Ciência e Tecnologia*, 14(3), 45-53. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v14i3.1400>

- Miranda, M. I. (2012). Taste and odor recognition memory: the emotional flavor of life. *Reviews in the Neurosciences*, 23(5-6), 481-499. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2012-0064>
- Ramos, A. F. (2015). *Estudo da influência da utilização de software de modelagem molecular no processo de aprendizagem de conceitos químicos por estudantes do Ensino Médio e superior*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS. Recuperado de <http://www.ppgecim.ulbra.br/teses/index.php/ppgecim/article/view/235>
- Renoult, L., & Rugg, M. D. (2020). An historical perspective on Endel Tulving's episodic-semantic distinction. *Neuropsychologia*, 139, 107366. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107366>
- Ripardo, A. K. S., França, G. S., Lopes, A. S., Silva, A. A.; Harahuchi, S. K. (2020). Uno da geometria molecular: um jogo didático para ensinar geometria dos pares de elétrons e geometria das moléculas. *Scientia Naturalis*, 2(1), 347-356. Recuperado de <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/3588>
- Silva, A. M. (2016). *Geometria molecular: elaboração, aplicação e avaliação de uma sequência didática envolvendo o lúdico*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências da Natureza, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. Recuperado de <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/5030/2/Produto%20Ana%20Paula%20Medeiros.pdf>
- Silva, C. S. (2020). *O jogo e a teoria do processamento da informação no ensino de geometria molecular*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO. Recuperado de <https://www.lequal.quimica.ufg.br/p/4052-dissertacoes-concluidas>
- Silva, K. S., Fonseca, L. S., & Freitas, J. D. (2018). Uma Breve História da Geometria Molecular sob a Perspectiva Didático-Epistemológica de Guy Brousseau. *Acta Scientiae*, 20(4), 626-647. <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.v20iss4id3716>
- Souza, K. A. O., Neto, O. L. A., Silva, M. W. S., Silva, A. A., & Haraguchi, S. K. (2020). "Dominó geométrico": uma ferramenta lúdica para o ensino de química sobre geometria dos pares de elétrons e geometria molecular. *Scientia Naturalis*, 2(1), 293-311. Recuperado de <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/3537>
- Uyulgan, M. A., Akkuzu, N., & Alpat, S. (2014). Assessing the students' understanding related to molecular geometry using a two-tier diagnostic test. *Journal of Baltic Science Education*, 13(6), 839-855. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/270395723\\_Assessing\\_The\\_Students%27\\_Understanding\\_Related\\_to\\_Molecular\\_Geometry\\_Using\\_a\\_Two-Tier\\_Diagnostic\\_Test](https://www.researchgate.net/publication/270395723_Assessing_The_Students%27_Understanding_Related_to_Molecular_Geometry_Using_a_Two-Tier_Diagnostic_Test)
- van Kesteren, M. T. R., & Meeter, M. (2020). How to optimize knowledge construction in the brain. *NPJ Science of Learning*, 5(5), 2-7. <https://doi.org/10.1038/s41539-020-0064-y>
- Wright, R., Thompson, W. L., Ganis, G., Newcombe, N. S., & Kosslyn, S. M. (2008). Training generalized spatial skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(4), 763-771. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.4.763>

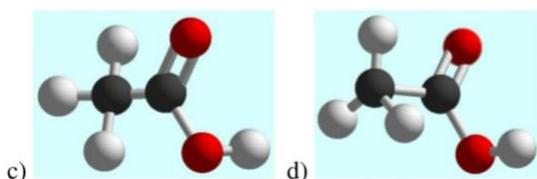
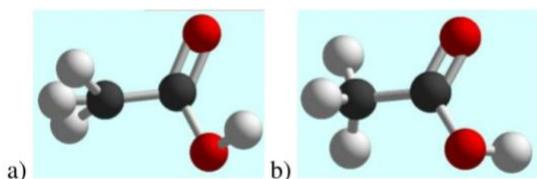
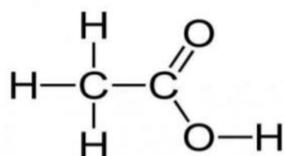
Recebido em: 11.09.2019

Aceito em: 16.01.2021

APÊNDICE A

TE1 – Teste de conhecimentos sobre noções de geometria molecular

1) Qual é a forma mais coerente para representar a molécula abaixo em 3 dimensões (3D)?



Desenhar a estrutura de Lewis da molécula, mostrando os elétrons que se ligam e os que não se ligam (utilize pontos para representar os elétrons ao redor dos átomos).

2) As moléculas  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  apresentam, respectivamente, as geometrias:

- a) angular e tetraédrica.
- b) angular e linear.
- c) piramidal trigonal e tetraédrica.
- d) piramidal trigonal e linear.

Desenhe as estruturas espaciais das duas moléculas (com símbolos e traços):

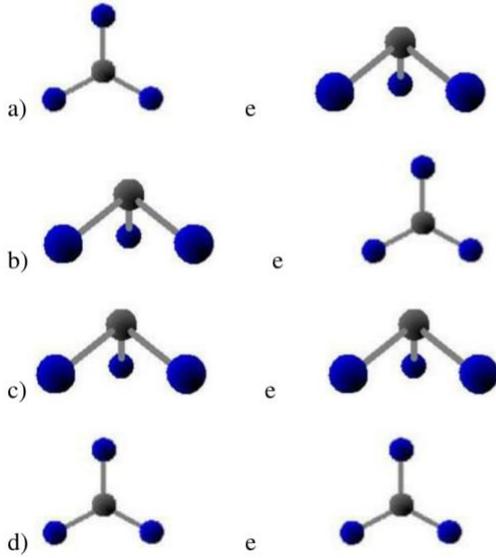
3) Dadas as representações de Lewis abaixo, assinale as geometrias das moléculas  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ :



- a) angular e linear.
- b) linear e angular.
- c) dobrada e reta.
- d) reta e dobrada.

O que determina as diferentes geometrias das duas moléculas, sendo que ambas possuem 3 átomos?

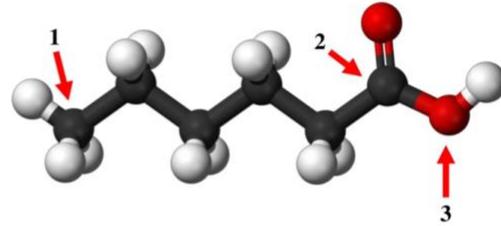
4) Quais moléculas em 3D melhor representam o trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ) e o tricloreto de fósforo ( $\text{PCl}_3$ ), respectivamente?



e) nenhuma das alternativas.

Desenhar as estruturas de Lewis das duas moléculas e explicar por que você escolheu essa alternativa.

5) A molécula abaixo apresenta diferentes geometrias em sua representação espacial. Considere o átomo indicado pela seta como base para indicar as geometrias correspondentes.



- a) 1=quadrática plana; 2=piramidal trigonal; 3=linear.
- b) 1=tetraédrica; 2=trigonal plana; 3=angular.
- c) 1=tetraédrica; 2=piramidal trigonal; 3=angular.
- d) 1=quadrática plana; 2=trigonal plana; 3=linear.

## Tabela periódica

1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18	
1		2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14																																									

## APÊNDICE B

### RAT1 – Roteiros de Atividades 1

#### 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.

**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, TRIGONAIS 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 circou 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 <sub>2</sub> O	BCl <sub>3</sub>
$\text{H} - \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}} - \text{H}$	
NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>
CO <sub>2</sub>	
	xxx

**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<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>... 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<sub>3</sub> e BCl<sub>3</sub>... 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 <sub>3</sub>  | ( ) Angular            |
| (2) BCl <sub>3</sub> | ( ) Tetraédrica        |
| (3) CO <sub>2</sub>  | ( ) Trigonal piramidal |
| (4) H <sub>2</sub> O | ( ) Linear             |
| (5) CH <sub>4</sub>  | ( ) Trigonal plana     |

**Fim das atividades! Parabéns pelo empenho!**

## APÊNDICE C

### RAT2 – Roteiro de Atividades 2

#### 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?

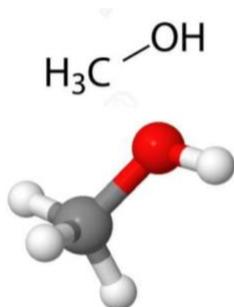
2) O que significa dizer que um determinado produto é feito de “tal” molécula?

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

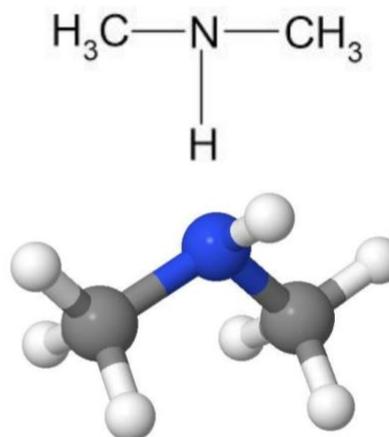
4) O que mais você gostou do segundo momento, onde você usou o aplicativo de visualização de moléculas?

#### PARTE B – PROFESSOR

5) Geometrias e tipo de fórmula condensada H<sub>3</sub>C:



4) Geometrias:



5) Geometrias e tipo de fórmula condensada:

