

PERSPECTIVA DOCENTE ACERCA DA APRENDIZAGEM DE GEOMETRIA MOLECULAR: ANÁLISE DE ENTREVISTA MEDIADA COM MAPA CONCEITUAL

TEACHING PERSPECTIVE ABOUT THE MOLECULAR GEOMETRY LEARNING: INTERVIEW ANALYSIS THROUGH A CONCEPT MAP

Kleyfton Soares da Silva¹, Paulo Rogério Miranda Correia²

Recebido: novembro/2022 Aprovado: dezembro/2023

Resumo: A preocupação com questões específicas sobre o ensino de química tem norteado pesquisas empíricas de modo que os dados coletados derivam das experiências de aprendizagem dos próprios estudantes. No entanto, uma lacuna de pesquisa tem sido identificada pela falta de investigação da percepção dos professores acerca da aprendizagem de geometria molecular, tendo em vista que eles são fonte de informações relevantes oriundas, principalmente, das experiências de sala de aula. O objetivo desta pesquisa foi fazer um levantamento de concepções docentes atreladas à aprendizagem – pelos estudantes – dos principais conceitos de geometria molecular. Enquanto estratégia de investigação, utilizou-se uma entrevista estruturada de pesquisa mediada por mapa conceitual para explicitar conceitos e, a partir da discussão deles, identificar as concepções dos docentes. As contribuições dos docentes permearam quatro linhas de discussão acerca da aprendizagem de geometria molecular: habilidades espaciais, relação estrutura-propriedade, estratégias didáticas e erros conceituais. Os resultados deste estudo reafirmam a importância de considerar não apenas as expectativas e desafios dos estudantes, mas também os insights dos docentes, que, por meio de suas experiências, podem contribuir para a criação de ambientes de aprendizagem mais eficazes.


Palavras-chave: Ensino de Química, Moléculas, Representação, Visualização.


Abstract: The concern with specific questions about the chemistry teaching has guided empirical research so that the data collected derive from the learning experiences of the students themselves. However, a research gap has been identified by the lack of investigation of the teachers' perception about molecular geometry learning, considering that they are a source of relevant information arising, mainly, from classroom experiences. The aim of this research was to carry out a survey of teaching conceptions linked to learning – by students – of the main molecular geometry concepts. As an investigation strategy, a structured research interview mediated by a conceptual map was used to explain concepts and – based on their discussion – identify the teachers' conceptions. The professors' contributions permeated four lines of discussion about molecular geometry learning: spatial skills, structure-property relationship, didactic strategies, and conceptual errors. The results of this study revive the need to consider not only the expectations and difficulties of the students, but also the teachers who – based on their experiences – can reveal more suitable scenarios for student learning.

Keywords: Chemistry Teaching, Molecules, Representation, Visualization.

1. Introdução

O ensino de geometria molecular tem chamado a atenção de educadores que se propõem a investigar fenômenos de aprendizagem no âmbito do ensino de química (Ribeiro; Sutério;

¹  <https://orcid.org/0000-0002-8526-961X> - Doutorando em Ensino de Ciências (USP). Professor de Química do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Coruripe, AL, Brasil. E-mail: kley.soares@hotmail.com

²  <https://orcid.org/0000-0003-2419-7103> - Doutor em Química (USP). Professor de Química da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH/USP), São Paulo, SP, Brasil. E-mail: prmc@usp.br

Bastos, 2018; Silva, 2018; Silva; Soares, 2021). A compreensão das propriedades químicas e físicas das substâncias depende da aquisição de conhecimentos relativos à noção de estrutura molecular, motivo pelo qual diversas estratégias de ensino têm sido propostas para superar a dificuldade de visualização de estruturas tridimensionais (Bacega, 2020; Manfio, 2019).

Do ponto de vista dos objetivos de pesquisas recentes sobre geometria molecular, destacam-se as preocupações com:

- o desenvolvimento de habilidades espaciais para lidar com múltiplas representações (Ferk *et al.*, 2003);
- a importância da relação estrutura-propriedade para que a aprendizagem faça sentido (Stowe *et al.*, 2019);
- o desenvolvimento de estratégias didáticas para facilitar a visualização de estruturas tridimensionais por meio de tecnologias digitais e materiais alternativos (Silva; Fonseca, 2021);
- o diagnóstico de erros conceituais para evitar práticas que possam gerar equívocos (Karonen *et al.*, 2021).

A preocupação com questões específicas da disciplina de química tem norteado pesquisas empíricas de modo que os dados coletados derivam das experiências de aprendizagem dos próprios estudantes. No entanto, uma lacuna de pesquisa tem sido identificada pela falta de investigação da percepção dos professores acerca da aprendizagem de geometria molecular, tendo em vista que eles são fonte de informações relevantes oriundas, principalmente, das experiências de sala de aula.

Nesse sentido, defendemos que as preocupações de pesquisa destacadas anteriormente também devem ser analisadas do ponto de vista docente, por meio do diagnóstico de suas concepções acerca da aprendizagem de geometria molecular. A identificação do entendimento dos docentes pode contribuir para informar práticas de ensino de modo personalizado, uma vez que o compartilhamento de experiências discentes e docentes tende a explicitar os problemas de aprendizagem de forma mais precisa.

O propósito fundamental desta pesquisa consistiu em realizar um levantamento das concepções dos docentes relacionadas à aprendizagem dos estudantes acerca dos principais conceitos de geometria molecular. Realizou-se uma entrevista mediada com mapa conceitual para explicitar conceitos relacionados com a geometria molecular e, a partir da discussão deles, identificar as concepções dos docentes. Os resultados foram analisados com base nos fundamentos da aprendizagem de geometria molecular e mostram um panorama das principais questões de aprendizagem enfrentadas, a partir da perspectiva dos docentes entrevistados.

2.0 ensino de geometria molecular

Há diferentes questões que podem ser estudadas do ponto de vista da aprendizagem de geometria molecular. Alguns trabalhos recentemente publicados na literatura destacam:

- a necessidade do desenvolvimento de habilidades espaciais para manipular e compreender diferentes representações (Martina, 2017; Rahmawati; Dianhar; Arifin, 2021);
- a importância de uma aprendizagem pautada na relação estrutura-propriedade das substâncias (Baldock; Blanchard; Fernandez, 2021);
- estratégias didáticas que exploram ferramentas digitais e/ou alternativas (Bacega, 2020);
- equívocos de aprendizagem com base no diagnóstico de erros conceituais (Stowe *et al.*, 2019).

Os modelos desempenham um papel crucial na representação de conceitos complexos e abstratos em química. A compreensão da química está intrinsecamente ligada a habilidades espaciais, como visualização, orientação e relações espaciais (Rahmawati, Dianhar, & Arifin, 2021). De acordo com Barnea (2000), a visualização implica a capacidade de transitar entre representações bidimensionais e tridimensionais. A orientação espacial refere-se à habilidade de conceber uma representação a partir de perspectivas distintas. As relações espaciais envolvem a capacidade de manipular mentalmente tais representações.

A aplicação das habilidades espaciais para resolver problemas de geometria molecular pode revelar a presença de competências representacionais. Martina (2017) identificou duas competências ligadas a representações visuais individuais: compreensão visual e fluência visual. Em casos de múltiplas representações visuais, surgem as competências de compreensão conexional e fluência conexional. Essas quatro competências representacionais indicam diferentes níveis de compreensão de representações. Tanto Barnea (2000) quanto Martina (2017) destacam a importância do uso contínuo de várias representações para desenvolver proficiência espacial.

O estudo da relação entre estrutura e propriedade busca conectar a terminologia química a fenômenos observáveis. Compreender as noções de geometria molecular é essencial para elucidar as propriedades químicas e físicas das substâncias. Segundo Baldock, Blanchard e Fernandez (2021), a realização de atividades investigativas em laboratórios de química desempenha um papel crucial na construção do entendimento sobre a estrutura da matéria em níveis simbólico, submicroscópico e macroscópico, bem como sua influência na funcionalidade e propriedades dos compostos.

Do ponto de vista dos estudantes, a dificuldade em transitar entre distintos níveis do conhecimento químico tem resultado em uma assimilação de conceitos desvinculados da realidade, negligenciando a conexão entre estrutura e propriedade. Stowe *et al.* (2019) advogam por um currículo que enfatize a exploração e compreensão das estruturas atômicas e moleculares com base em suas propriedades e aplicações. Portanto, o ensino de geometria molecular deve se harmonizar com várias oportunidades de aplicar e discutir os conhecimentos químicos.

Ao abordar estratégias didáticas, diversas pesquisas destacam o potencial de recursos tecnológicos digitais, modelos físicos, jogos educativos e experiências de laboratório. Frequentemente, a ênfase recai na importância da visualização como elemento fundamental na

aprendizagem da geometria molecular. Autores como os mencionados a seguir salientam que, devido à natureza abstrata do conteúdo, é necessário fornecer recursos didáticos que representem moléculas em diversas formas para enriquecer o ensino.

Modelos moleculares virtuais têm sido empregados para simplificar a visualização de moléculas. Intervenções didáticas usando tecnologias digitais renderam resultados positivos em estudos como os de Santos (2019), Bacega (2020) e Rocha *et al.* (2021). Por outro lado, modelos moleculares físicos, como os construídos com bolas de isopor e palitos (Silva; Fonseca, 2021), balões de festa (Bouzon, 2015) e garrafas PET (Fabri, 2016), são frequentemente adotados devido à facilidade de acesso e às oportunidades criativas que oferecem para representações.

Estratégias didáticas para o ensino de geometria molecular incluem o uso de jogos educativos (Silva; Soares, 2021) e atividades em laboratório de química (Ogden, 2017). De modo geral, todas essas abordagens incorporam recursos dinâmicos para fomentar uma aprendizagem centrada no aluno.

A aplicação de diversas estratégias didáticas evidencia que os estudantes frequentemente possuem concepções equivocadas em relação a conceitos associados à geometria molecular. Por exemplo, a regra do octeto é muitas vezes mal interpretada, resultando em contradições e extensões errôneas da regra. Karonen *et al.* (2021) observam que alguns estudantes não conseguem prever com precisão geometrias moleculares porque acreditam erroneamente que todas as moléculas estabelecem ligações químicas para alcançar estabilidade com 2 ou 8 elétrons na camada de valência. Outro erro conceitual significativo é considerar que os modelos moleculares servem apenas para melhorar a visualização, sem relação com os fundamentos teóricos que explicam, por exemplo, as propriedades das substâncias (Karonen *et al.*, 2021; Stowe *et al.*, 2019).

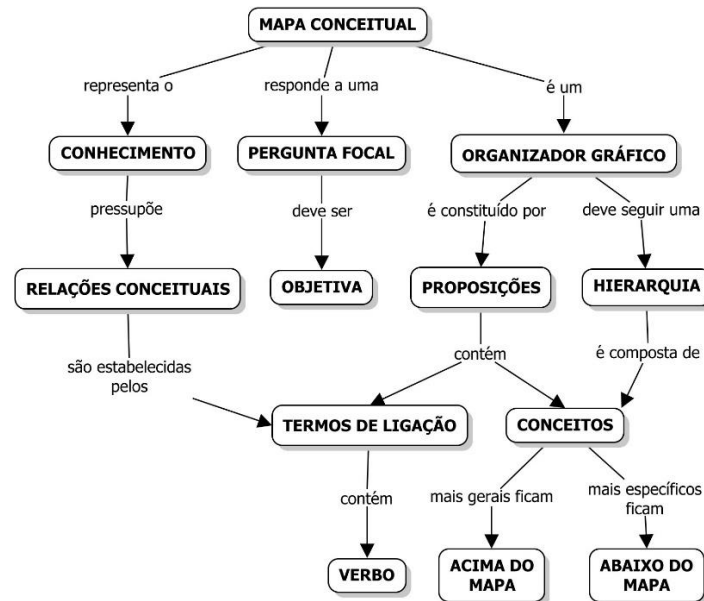
Birk e Kurtz (1999) e Özmen, Demircioglu e Demircioglu (2008) constataram que, mesmo quando os alunos compreendem que a forma das moléculas resulta do arranjo eletrônico dos átomos, concepções equivocadas podem persistir. Por exemplo, a repulsão entre pares de elétrons na camada de valência às vezes é erroneamente associada a pares ligantes ou não ligantes em torno do átomo central de uma molécula. Como resultado, os estudantes frequentemente acreditam que a forma das moléculas é determinada pela influência da nuvem eletrônica dos pares de elétrons não ligantes ou pela força eletrônica dos pares de elétrons ligantes, com máxima separação entre átomos. No entanto, muitos alunos não consideram adequadamente as interações mútuas entre os pares de elétrons ligantes e não ligantes.

3. Mapa conceitual como instrumento de pesquisa

O mapa conceitual (Figura 1) é uma ferramenta para organizar o conhecimento, apresentando uma representação visual e textual que pode ser compreendida por diferentes leitores, inclusive aqueles que não o elaboraram. Ele é formado por proposições contendo conceitos e termos de ligação, estruturados hierarquicamente, com conceitos gerais acima e específicos abaixo. A quantidade de informações é determinada pela pergunta focal, que deve ser precisa e concisa (Silva; Fonseca; Correia, 2020). Ao promover o envolvimento ativo e facilitar a construção de conhecimento, o mapa conceitual emerge como uma ferramenta

educacional e de avaliação com grande potencial significativo (Santos; Pauletti, 2022; Oliveira; Cavalcante; Aquino, 2023).

Figura 1 - O que é um mapa conceitual? Fonte: Adaptado de Silva, Fonseca e Correia (2020)



Aguiar e Correia (2013) afirmam que a qualidade de um mapa conceitual depende de quatro características: clareza semântica das proposições, informações condizentes com a pergunta focal, organização hierárquica dos conceitos, revisão contínua. Dessa forma, as relações existentes entre os conceitos podem ser interpretadas para alcançar a compreensão do “mapeador” acerca de um dado tema.

Ao contrário de percepções comuns, o mapa conceitual não é apenas utilizado como uma ferramenta de avaliação, na qual os alunos o constroem para obter feedback. No ambiente escolar, a limitação de tempo para ensinar os alunos a criar mapas e para revisar suas produções é um obstáculo para a disseminação da técnica de mapeamento conceitual. Uma solução alternativa consiste na elaboração de mapas conceituais pelos próprios educadores, aproveitando a perspectiva especializada para estruturar um mapa. Isso não busca substituir a prática dos alunos na criação de mapas, mas fornecer um modelo que possa ser utilizado para atingir diferentes objetivos (Correia; Cabral; Aguiar, 2016).

Silva, Fonseca e Correia (2020) destacam que mapas conceituais com lacunas, erros, figuras e cores podem ser produzidos por professores e utilizados pelos estudantes como estímulos para a regulação da atenção e memória. Essas estratégias visuais e espaciais são fundamentadas em princípios de aprendizagem e permitem que mapas conceituais pré-concebidos por especialistas – professores treinados na técnica de mapeamento – sejam aplicados com rapidez e efetividade.

No contexto da ampla variedade de aplicações do mapa conceitual, surge a oportunidade de empregá-lo como ferramenta de pesquisa. Kinchin, Streatfield e Hay (2010) consideram que a coleta de informações através de entrevistas com mapas conceituais pode ser confiável, visto que ambas as ferramentas são estruturadas para explorar a complexidade das questões de

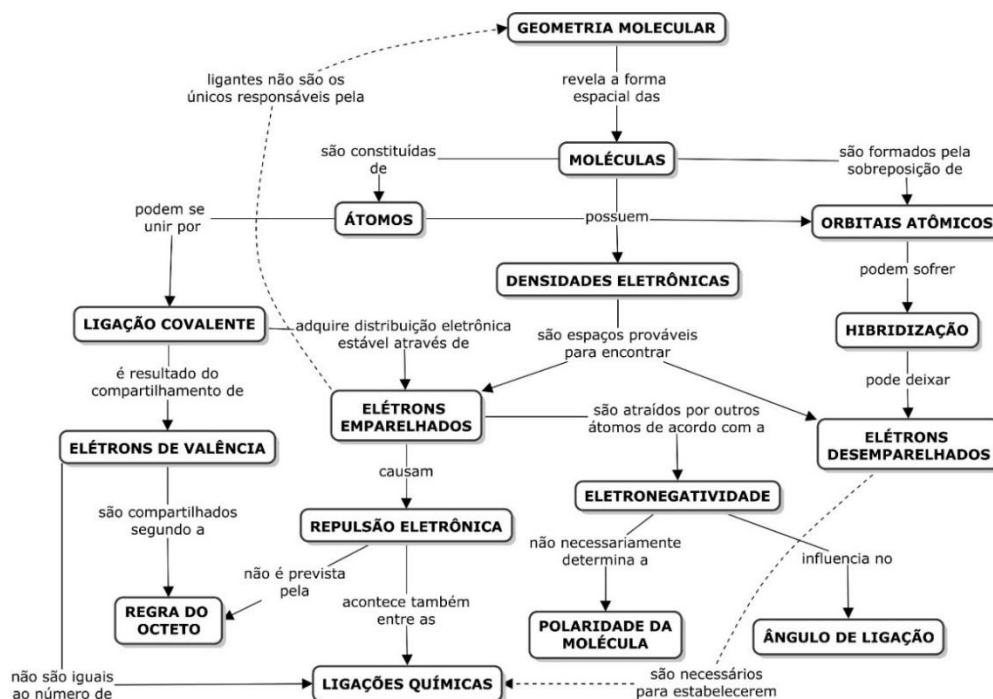
pesquisa propostas pelo pesquisador. As vantagens de incorporar mapas conceituais em entrevistas (Heron; Kinchin; Medland, 2018; Aguiar; Correia, 2019) incluem, para os propósitos deste estudo, a capacidade de identificar com mais precisão quais conceitos estão recebendo a atenção do entrevistado, maior flexibilidade para o entrevistador e maior eficiência na revisão, aprimoramento e validação.

4. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa qualitativa com análise de conteúdo e comparação com a literatura, visando identificar os conceitos-chave e as dificuldades de aprendizagem em geometria molecular conforme percebidos por professores de química. Para essa investigação, foi empregada uma entrevista estruturada de pesquisa, facilitada por um mapa conceitual construído no *CmapTools*.

No início do estudo, os autores deste trabalho, que são professores de química e especialistas em mapeamento conceitual, colaboraram para criar um mapa conceitual. Esse mapa incluiu 16 conceitos e 22 proposições relacionadas aos principais temas da geometria molecular no Ensino Médio e Superior (Figura 2).

Figura 2 – Mapa conceitual utilizado na entrevista docente – o que é geometria molecular?



Após essa etapa, dois professores de química do Ensino Superior da Universidade de São Paulo foram convidados a participar de entrevistas individuais e gravadas, realizadas via Google Meet, com duração de 25 minutos cada. Os professores receberam o mapa conceitual com 7 dias de antecedência. Durante as entrevistas, o entrevistador compartilhou a tela do computador, exibindo o mapa conceitual, e pediu aos docentes que lessem cada proposição. Na sequência, foram feitas as seguintes perguntas:

- Quais ajustes você sugere para aprimorar o mapa conceitual?
- De acordo com sua experiência profissional, quais conceitos são cruciais para que os estudantes compreendam a geometria molecular?
- Quais conceitos são mais desafiadores para os estudantes?

Durante as entrevistas, as alterações propostas pelos entrevistados foram implementadas, resultando em novos mapas conceituais individuais. Em seguida, essas modificações foram incorporadas em um mapa colaborativo que combinou as sugestões de ambos os docentes. Essa versão colaborativa dos mapas foi aprovada pelos entrevistados.

A abordagem colaborativa na construção do mapa conceitual permitiu que os docentes entrevistados partissem de um mapa previamente criado pelos autores. Dado que o objetivo da pesquisa era captar os principais conceitos de interesse dos entrevistados e suas justificativas, o mapa conceitual inicial orientou o processo da entrevista, reduzindo possíveis perdas de informações. Durante o processo, o entrevistador aceitou todas as sugestões dos entrevistados, intercedendo somente com orientações sobre o arranjo espacial mais adequado para os conceitos no mapa.

Todos os aspectos éticos foram garantidos conforme o projeto enviado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Humanos.

5. Resultados e discussão

5.1 Docente A

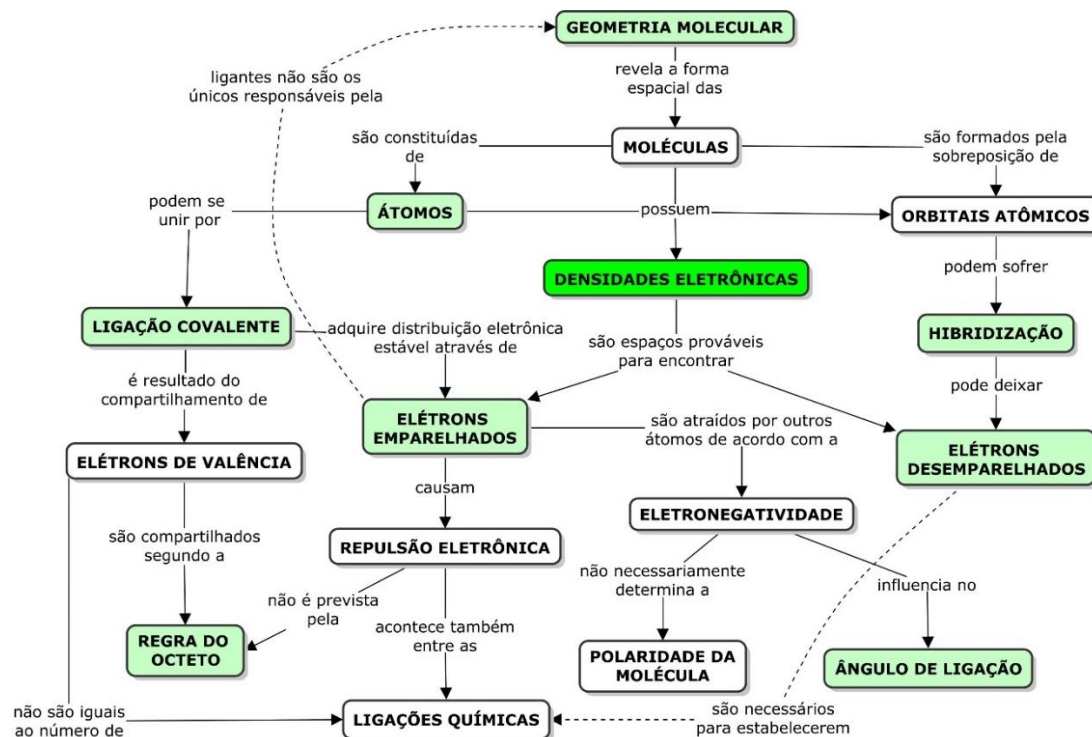
Um exame amplo dos conceitos explorados pelo docente A (Figura 3) revela uma abrangente análise do mapa conceitual. Ordenados de forma crescente, os conceitos que receberam maior tempo de discussão foram: átomos, ligação covalente, regra do octeto e elétrons desemparelhados (1-2 min.); geometria molecular, ângulo de ligação, hibridização e densidades eletrônicas (2-3 min.); e elétrons emparelhados (3-4 min.). No geral, foram mencionados nove conceitos distintos durante o intervalo de 25 minutos.

No início da entrevista, quando questionado sobre possíveis melhorias no mapa conceitual, o docente prontamente mencionou o conceito de “geometria molecular”. Ele apontou que o termo de ligação “revela a forma espacial das” pode induzir erroneamente à ideia de que as moléculas são estáticas. O docente destacou a dificuldade dos alunos em compreender modelos e sua tendência a não atribuir caráter dinâmico às representações moleculares. Ficou evidente que a ausência de informação no mapa conceitual sobre a natureza tridimensional e conformacional das moléculas pode resultar em erros conceituais e problemas de percepção significativos.

Após uma breve análise para abordar o problema identificado, ficou claro que a ligação entre “geometria molecular” e “moléculas” não representa um problema, desde que um novo conceito seja adicionado para aprofundar a compreensão das moléculas. Consequentemente, o docente sugeriu a incorporação do conceito de “ângulo de ligação” como ponto de partida para abordar a questão da dinamicidade das moléculas. Este conceito em particular foi considerado

o mais apropriado para a adaptação, devido à sua conexão intrínseca com a conformação das moléculas.

Figura 3 – Conceitos abordados pelo docente A realçados em verde. Destaque para o conceito considerado essencial para a compreensão da noção de geometria molecular.



O conceito seguinte mencionado foi “átomos”, que atuou como referência para que o docente pudesse avaliar e aprovar a organização hierárquica dos conceitos na parte esquerda do mapa conceitual. Como resultado, não houve sugestões de alterações. No entanto, na outra parte do mapa, o conceito de “hibridização” despertou a atenção do docente, pois carecia de informações claras para entender que se trata do fenômeno de formação de orbitais híbridos a partir da sobreposição de orbitais atômicos. Como solução, a sugestão foi ajustar as proposições relacionadas ao conceito de “hibridização” para mitigar a rápida transição entre esse conceito e “elétrons desemparelhados”.

O conceito seguinte, “ligação covalente”, foi mencionado no lado esquerdo do mapa conceitual, mas apenas para avaliar e confirmar a organização hierárquica dos conceitos. Consequentemente, nenhuma sugestão de alteração foi apresentada. O docente enfatizou que os conceitos à esquerda do mapa estão bem interconectados e transmitindo uma mensagem clara. Entretanto, o conceito “elétrons emparelhados” teve seu termo de ligação com “eletronegatividade” questionado. Para tornar a proposição mais clara, de acordo com o docente, o termo de ligação “são atraídos por outros átomos de acordo com a” poderia ser ajustado para “são atraídos por outros átomos da mesma molécula de acordo com a”. A justificativa é que ao longo do mapa conceitual se discute átomos de qualquer molécula, mas a proposição em questão se refere a átomos da mesma molécula. Portanto, a revisão do termo de ligação visa minimizar possíveis confusões.

Quando questionado sobre os conceitos mais desafiadores para a compreensão, o docente destacou “elétrons desemparelhados”, enfatizando que a concepção de formação e configuração das moléculas se origina da sobreposição de orbitais atômicos com elétrons desemparelhados. Como meio de evitar mal-entendidos, o docente sugeriu expandir as informações do conceito “regra do octeto”, pois essa regra não deixa claro que existem exceções significativas a serem consideradas. Para abordar isso, é apropriado adicionar proposições que abordem a contratação e extensão da regra do octeto.

De acordo com o docente entrevistado, a dificuldade de desenvolvimento conceitual em relação à geometria molecular pode ser atenuada por meio do estudo das “densidades eletrônicas” e seus impactos na formação e conformação das moléculas. Ele enfatizou que esse conceito é um dos mais essenciais para compreender a natureza dinâmica das moléculas. Dessa forma, a aprendizagem significativa pode ser promovida quando os alunos não apenas utilizam técnicas mnemônicas para categorizar várias geometrias moleculares, mas também compreendem como as densidades eletrônicas afetam a repulsão e o ângulo das ligações.

Embora o docente tenha mencionado nove conceitos presentes no mapa conceitual, fica evidente que a sua preocupação central se concentrou na dinamicidade ou percepção espacial das moléculas. A ausência de elementos visuais e/ou conceitos no mapa conceitual que permitam representar aspectos espaciais levou o docente a refletir além da simples identificação dos principais conceitos de geometria molecular. Nas palavras do docente, o papel da representação “é extremamente importante para a visualização espacial... O que se torna um desafio significativo para a aprendizagem dos alunos. Eles enfrentam dificuldades consideráveis ao tentar visualizar apenas em 2D. Além disso, a capacidade de interação proporcionada pela visualização espacial também é um fator relevante”.

A preocupação do docente em relação ao aspecto espacial indica que os estudantes estão desenvolvendo concepções incorretas associadas às múltiplas representações. Isso revela dificuldades em visualizar e mentalmente manipular representações moleculares. Portanto, é essencial trabalhar o desenvolvimento de habilidades espaciais (Barnea, 2000; Martina, 2017) para permitir que os alunos compreendam os conceitos químicos em níveis submicroscópico, macroscópico e simbólico (Johnstone, 1991).

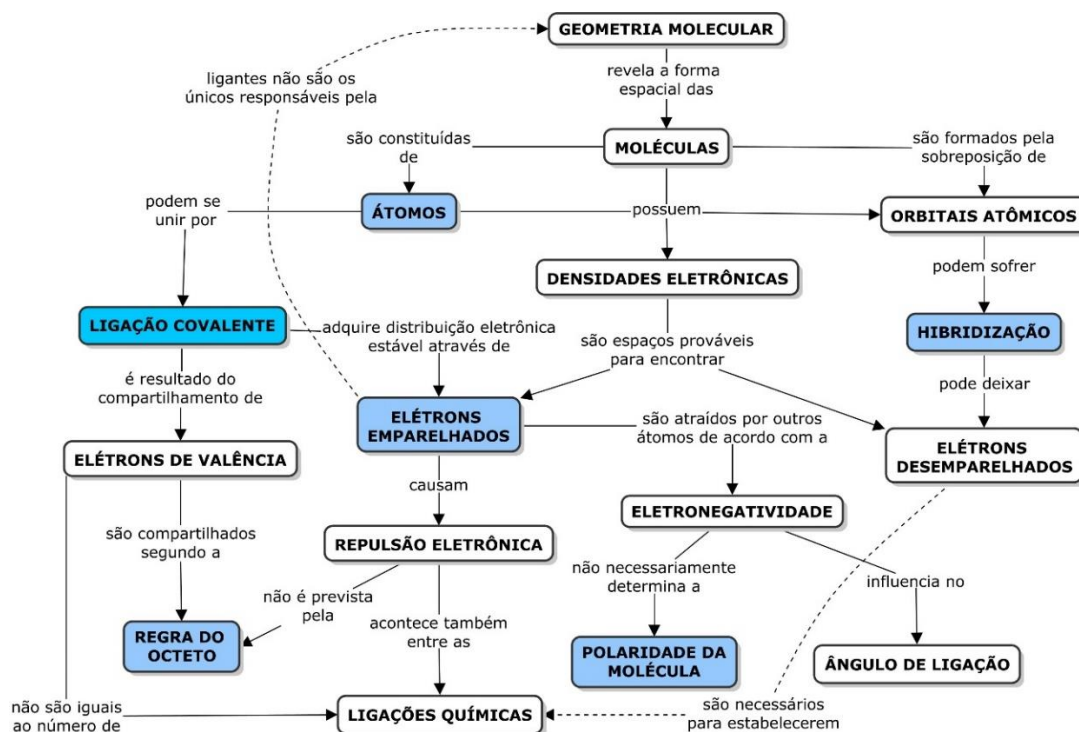
Nesse contexto, o docente ressaltou a importância de estratégias didáticas que possam superar o desafio da visualização na química. Em consonância com os exemplos de estratégias didáticas apresentados na revisão teórica (Bouson, 2015; Fabri, 2016; Santos, 2019; Silva; Fonseca, 2021), propomos ampliar a diversidade de abordagens em sala de aula, incorporando métodos criativos para facilitar a compreensão, abrangendo diversas formas de representação molecular, incluindo abordagens em 2D e 3D.

5.2 Docente B

Ao observar de forma abrangente os conceitos abordados pela docente B (Figura 4), é possível notar uma ênfase maior no lado esquerdo do mapa conceitual. Em uma progressão ascendente, os conceitos que receberam mais tempo de discussão foram: átomos (1-2 min.), regra do octeto, polaridade, hibridização (2-3 min.), elétrons emparelhados (4-5 min.), ligação

covalente (5-6 min.). De modo geral, foram mencionados seis conceitos distintos durante o período de 25 minutos.

Figura 4 – Conceitos abordados pela docente B realçados em azul. Destaque para o conceito considerado essencial para a compreensão da noção de geometria molecular.



No início da entrevista, a docente avaliou o conceito de “átomos” e recomendou a inclusão de conceitos como ligação iônica e metálica, mesmo que de forma superficial. Essa adaptação ajuda a prevenir interpretações incorretas de que os átomos estão unidos apenas por ligações covalentes.

O conceito de “regra do octeto” foi mencionado para suscitar uma indagação sobre as implicações de seu uso e sua relação com o conceito de estabilidade. A perspectiva da entrevistada coincide com a visão de Subramanian, Filho e Saldanha (1989, p. 290), que afirmam que “os alunos devem ser orientados a compreender claramente o princípio subjacente à regra dos gases nobres”. Assim, a ênfase na regra do octeto pode acarretar efeitos negativos se as exceções não forem abordadas com destaque.

Embora as discussões sobre os impactos negativos do uso inadequado da regra do octeto sejam relativamente antigas, muitos livros didáticos enfatizam os cenários onde a regra é aplicável, enquanto os casos que não se encaixam na regra são abordados de maneira superficial. Uma forma de reduzir o risco de desenvolver concepções errôneas a partir da leitura do mapa conceitual é ajustá-lo conforme a sugestão anterior do docente A, ou seja, adicionando proposições com conceitos que expliquem a contração e expansão da regra.

O conceito “ligação covalente” foi abordado em dois momentos durante a entrevista. O termo que conecta “ligação covalente” a “elétrons emparelhados” causou incertezas, resultando na alocação de alguns minutos da entrevista para buscar um termo de ligação mais

coerente. Com o intuito de aprimorar a clareza da proposição, foi sugerido substituir o termo de ligação “adquire distribuição eletrônica estável através de” por “resulta de uma distribuição estável por meio de”.

A docente analisou o conceito “densidades eletrônicas” para avaliar e aprovar as duas proposições associadas a ele. Portanto, não houve sugestão de alterações. O próximo conceito abordado foi “elétrons emparelhados”, e o termo de ligação “ligantes não são os únicos responsáveis pela” foi questionado. Foi sugerido rever essa proposição para maior clareza, possivelmente eliminando-a, mas reforçando a importância de adotar estratégias didáticas que evitem a percepção equivocada de que a geometria angular de moléculas como H₂O é resultante apenas da repulsão entre os pares de elétrons não ligantes. A literatura internacional previamente documentou esse tipo de erro. Peterson, Treagust e Garnett (1986) e Birk e Kurtz (1999) identificaram equívocos por parte dos estudantes que envolve a consideração exclusiva dos pares de elétrons ligantes – ou não ligantes – na determinação da configuração espacial da molécula, negligenciando o impacto de todos os pares de elétrons – ligantes e não ligantes – no arranjo final.

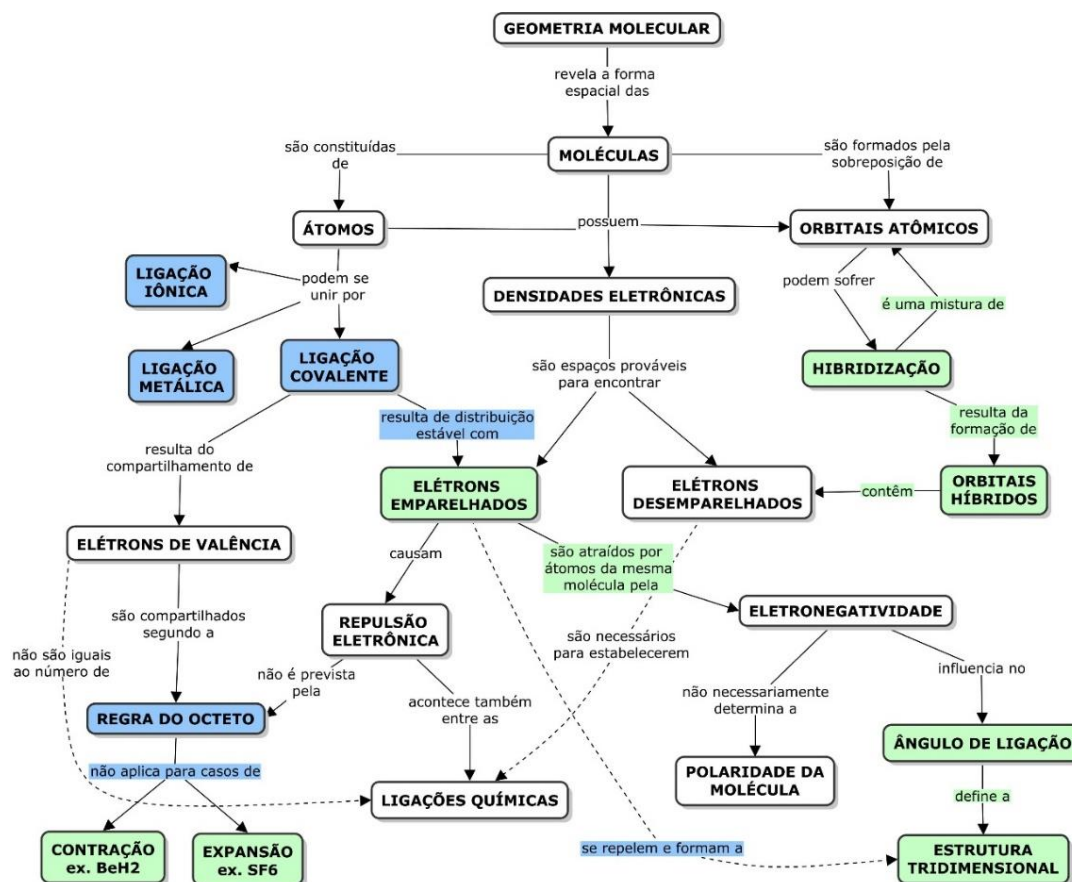
Quando questionada sobre os conceitos-chave, a docente novamente mencionou o conceito de “ligação covalente”, desta vez para justificar que a compreensão da geometria molecular depende das noções de ligações químicas. Além disso, ao abordar o conceito de “polaridade”, a docente enfatizou que os estudantes devem ser incentivados a ver os modelos e conceitos científicos como construtos que ampliam o entendimento dos fenômenos ao nosso redor. No entanto, conceitos como polaridade e ligações intermoleculares têm levado a erros conceituais, indicando a persistência de desafios na compreensão da relação entre a estrutura molecular e as propriedades das substâncias (Baldock; Blanchard; Fernandez, 2021).

Quanto ao conceito mais desafiador para a aprendizagem, a docente destacou a “hibridização”. No contexto do Ensino Médio, é comum que a Teoria da Ligação de Valência (TLV) seja abordada de forma superficial para explicar a hibridização, o que pode resultar em dificuldades de compreensão de conceitos complexos e abstratos. Se a hibridização já é de difícil entendimento no Ensino Superior (Ramos *et al.*, 2008), não surpreende que essa dificuldade seja ainda mais pronunciada no Ensino Médio.

6.0 mapa conceitual colaborativo

As diversas perspectivas dos docentes entrevistados tiveram um papel fundamental na revisão do mapa conceitual. Nessa abordagem, buscamos destacar como um mapa conceitual foi construído de forma colaborativa (Figura 5) utilizando uma metodologia inovadora (Aguar; Correia, 2019), que transformou as experiências compartilhadas em um recurso educacional amplamente aceito. Após incorporar as sugestões dos entrevistados, o mapa conceitual final passou por ajustes estruturais para melhorar sua fluidez na leitura. Como pode ser observado, cada docente contribuiu com informações adicionais para diferentes conceitos, exceto o conceito de “regra do octeto”, que foi abordado por ambos os docentes.

Figura 5 – Mapa conceitual construído colaborativamente – Conceitos realçados de acordo com as sugestões dos docentes A (verde) e B (azul)



As perspectivas dos docentes exemplificam como a disposição de ideias está ligada à prática profissional, sendo influenciada pelo contexto e experiências individuais. Embora ocupem posições similares - ambos são professores de química na USP - suas experiências levaram a considerações distintas, porém complementares. Por exemplo, enquanto o docente A explorou questões de espacialidade e aprendizagem de conceitos complexos, a docente B concentrou-se mais em conceitos fundamentais.

Das entrevistas emerge o desafio de ensinar geometria molecular, envolvendo a elaboração e aplicação de estratégias didáticas que unam objetivos de aprendizado relacionados à estrutura molecular e o desenvolvimento de habilidades espaciais. Um obstáculo a superar é a clara ligação entre a estrutura e as propriedades das substâncias, já que o uso de modelos moleculares físicos ou virtuais nem sempre resulta em uma aprendizagem significativa. Portanto, é crucial uma abordagem que adquira conhecimentos conceituais e procedimentais, sem perder de vista a motivação para estudar e aplicar tais conhecimentos.

Enquanto as pesquisas com estudantes fornecem evidências sobre suas dificuldades de aprendizado de conceitos científicos e sua interação com os recursos didáticos, as percepções dos docentes oferecem uma visão abrangente de todos os aspectos do aprendizado do conteúdo. Dessa forma, os docentes compartilham suas preocupações com base em suas

experiências em sala de aula, ressaltando conceitos cruciais para superar os desafios inerentes ao processo educacional.

7. Considerações finais

A análise e discussão consideraram as visões dos entrevistados em conexão com o conhecimento teórico especializado. As entrevistas permitiram abordar o ensino de geometria molecular a partir de uma nova perspectiva. As contribuições dos docentes deram origem a quatro linhas de discussão sobre a aprendizagem desse tema. O docente A enfocou o desenvolvimento de habilidades espaciais para lidar com múltiplas representações, além de enfatizar a necessidade de estratégias didáticas que promovam a visualização de moléculas tridimensionais. A docente B destacou a importância de relacionar os conceitos apresentados com fenômenos observáveis, enfatizando a inseparabilidade entre estrutura e propriedade das substâncias. Ela também ressaltou a importância de abordar os conhecimentos químicos de forma a superar erros conceituais que possam surgir durante o processo educativo.

A pluralidade de perspectivas auxilia na construção e adequação de diferentes contextos de aprendizagem. Os resultados deste estudo confirmam a necessidade de se considerar não somente as expectativas e dificuldades dos estudantes. Os docentes, a partir de suas experiências, podem revelar cenários mais adequados para a aprendizagem dos estudantes. Assim, o mapa conceitual colaborativo (Figura 5) pode ser utilizado como instrumento norteador das práticas educativas relacionadas ao ensino de geometria molecular. Ele sumariza os principais conceitos que devem ser considerados no âmbito do ensino, do ponto de vista de docentes experientes.

Em resumo, a utilização de entrevistas com mapas conceituais permite acessar a perspectiva dos sujeitos de pesquisa sobre aspectos relevantes do processo em análise. Em nosso caso específico, esses sujeitos podem ser gestores, professores ou alunos, e o processo em análise é o ensino de geometria molecular, mas o método poderia ser aplicado a diferentes contextos educacionais, abrangendo temas como ensino, aprendizagem, engajamento, avaliação e conteúdos de diversas disciplinas.

8. Agradecimentos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas.

9. Referências

AGUIAR, J. G.; CORREIA, P. R. M. Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 2, p. 141-157, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4265>. Acesso em 16 nov. 2022.

AGUIAR, J. G.; CORREIA, P. R. M. Um novo olhar sobre a vida acadêmica: estudo de caso sobre as concepções de docentes. **Educação e Pesquisa**, v. 45, e193301, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-4634201945193301>

BACEGA, T. **Estrutura química para o 9º ano do ensino fundamental**: uma proposta de ensino envolvendo tecnologia digital com vistas à aprendizagem significativa. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2020. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/1957>. Acesso em 16 nov. 2022.

BALDOCK, B. L.; BLANCHARD, J. D.; FERNANDEZ, A. L. Student discovery of the relationship between molecular structure, solubility, and intermolecular forces. **J. Chem. Educ.**, v. 98, n. 12, p. 4046–4053, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00851>

BARNEA, N. Teaching and learning about chemistry and modelling with a computer managed modelling system. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (eds.). **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000.

BIRK, J. P.; KURTZ, M. J. Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding. **J. Chem. Educ.**, 76, 1, p. 124-128, 1999. DOI <https://doi.org/10.1021/ed076p124>

BOUZON, J. D. **Metodologias didáticas alternativas para o ensino de geometria molecular e soluções**: estratégias para a construção do conhecimento. 2015. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/4785>. Acesso em 16 nov. 2022.

CORREIA, P. R. M.; CABRAL, G. C. P.; AGUIAR, J. G. Cmaps with errors: Why not? comparing two cmap-based assessment tasks to evaluate conceptual understanding. In: International Conference on Concept Mapping, 7, 2016. **Anais...** New York: Springer, v. 1, p. 1-5, 2016. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45501-3_1. Acesso em 16 nov. 2022.

FABRI, P. H. **Estudo da motivação do estudante trabalhando com modelos moleculares concretos, validada por meio de vídeo e áudio**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016. Disponível em: <https://ead.uenf.br/moodle/mod/url/view.php?id=13658&lang=es>. Acesso em 16 nov. 2022.

FERK, V.; VRTACNIK, M.; BLEJEC, A.; GRIL, A. Students' understanding of molecular structure representations. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 10, p. 1227-1245, 2003. DOI <https://doi.org/10.1080/0950069022000038231>

HERON, M.; KINCHIN, I. M.; MEDLAND, E. Interview talk and the co-construction of concept maps. **Educational research**, v. 60, n. 4, p. 373-389, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00131881.2018.1522963>

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? things are seldom what they seem. **J. Comput. Assist. Lear.**, v. 7, n. 2, p. 75–83, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>

KARONEN, M.; MURTONEN, M.; SODERVIK, I.; MANNINEN, M.; SALOMAKI, M. Heuristics hindering the development of understanding of molecular structures in university level chemistry education: the Lewis structure as an example. **Educ. Sci.**, 11, 258, 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/educsci11060258>

KINCHIN, I.; STREATFIELD, D.; HAY, D. Using concept mapping to enhance the research interview. **International Journal of Qualitative Methods**, London, v. 9, n. 1, p. 52-68, 2010. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/160940691000900106#:~:text=Concept%20mapping%20differs%20from%20traditional,perceived%20richness%20of%20interview%20data>. Acesso em 16 nov. 2022.

MANFIO, R. A. **Utilização e avaliação de software para geometria molecular no ensino médio**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Química – PROFQUI) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/572791>. Acesso em 16 nov. 2022.

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.

OGDEN, M. An inquiry experience with high school students to develop an understanding of intermolecular forces by relating boiling point trends and molecular structure. **J. Chem. Educ.**, 94, p. 897-902, 2017. DOI 10.1021/acs.jchemed.6b00697.

OLIVEIRA, J. A. B.; CAVALCANTE, P. S.; AQUINO, K. A. S. Mapas conceituais na avaliação da aprendizagem decorrente de sequências de ensino potencialmente significativas para o ensino de ciências. **ENCITEC**, Santo Ângelo, v. 13, n. 1, p. 61-77, jan./abr. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.31512/encitec.v13i1.1068>

ÖZMEN, H.; DEMIRCIOĞLU, H.; DEMIRCIOĞLU, G. The effects of conceptual change texts accompanied with animations on overcoming 11th grade students' alternative conceptions of chemical bonding. **Computers & Education**, v. 52, n. 3, p. 681-695, 2008. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.11.017>

PETERSON, R. F.; TREAGUST, D. F.; GARNETT, P. J. Identification of secondary students' misconceptions of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic instrument. **Research In Science Education**, 16, p. 40-48, 1986. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02356816>

RAHMAWATI, Y.; DIANHAR, H.; ARIFIN, F. Analysing Students' Spatial Abilities in Chemistry Learning Using 3D Virtual Representation. **Educ. Sci.**, 11, 185, 1-22, 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/educsci11040185>

RAMOS, J. M.; IZOLANI, A. O.; TÉLLEZ, C. A.; SANTOS, M. J. G. O conceito de hibridização. **Química Nova na Escola**, n. 28, p. 24-27, 2008. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/06-CCD-5906.pdf>. Acesso em 16 nov. 2022.

RIBEIRO, R. D. R.; SUTÉRIO, G. M.; BASTOS, A. R. B. Geometria molecular acessível para alunos com deficiência visual. **Educação química em ponto de vista**, v. 2, n. 1, p. 161-172, 2018. DOI <https://doi.org/10.30705/eqpv.v2i1.1163>

ROCHA, N. M.; VASCONCELOS, A. K. P.; FILHO, V. T. N.; SAMPAIO, C. G. BARROSO, M. C. S. A realidade aumentada como recurso auxiliar para a aprendizagem significativa de geometria molecular. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, e21710109027, 2021. DOI <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.9027>

SANTOS, A. C. L. **Ensino de geometria molecular com aplicativo de simulação digital**: possíveis contribuições para uma aprendizagem significativa. 2019. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2019. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000229351>. Acesso em 16 nov. 2022.

SANTOS, D. G.; PAULETTI, F. Possibilidades de uso do software CMap Tools: construção de mapas conceituais para uma aprendizagem de funções inorgânicas. **ENCITEC**, Santo Ângelo, v. 12, n. 2, p. 51-70, maio/ago. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.31512/encitec.v12i2.737>

SILVA, C. S.; SOARES, M. H. F. B. GeomeQuímica: um jogo baseado na Teoria Computacional da Mente para a aprendizagem de conceitos de geometria molecular. **Quím. nova esc.**, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 371-379, 2021. DOI <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160265>

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. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/8229>. Acesso em 16 nov. 2022.

SILVA, K. S.; FONSECA, L. S. Neurociência e educação: estratégias multissensoriais para a aprendizagem de geometria molecular. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 26, n. 01, p. 01-26, 2021. DOI <http://dx.doi.org/10.22600/1518-795.ienci2021v26n1p01>

SILVA, K. S.; FONSECA, L. S.; CORREIA, P. R. M. Abordagem neurocognitiva de processos atencionais envolvidos na aprendizagem mediada por mapas conceituais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 13, n. 2, p. 247-268, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3895/rbect.v13n2.9421>

STOWE, R. L.; HERRINGTON, D. G.; MCKAY, R. L.; COOPER, M. M. The impact of core-idea centered instruction on high school students' understanding of structure–property relationships. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 7, p. 1327-1340, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00111>

SUBRAMANIAN, N.; FILHO, A. V. M.; SALDANHA, T. C. B. Tópicos em ligação química II – Sobre o mérito da regra do octeto. **Química Nova**, v. 12, n. 3, p. 285-291, 1989. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3416. Acesso em 16 nov. 2022.