

LINGUAGEM E TRIDIMENSIONALIDADE MOLECULAR NO ENSINO SUPERIOR DE QUÍMICA

LANGUAGE AND MOLECULAR SPATIAL SKILLS IN HIGHER EDUCATION OF CHEMISTRY

LENGUAJE Y TRIDIMENSIONALIDAD MOLECULAR EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR DE QUÍMICA

Jackson Gois*

Adriano Pozzo Maioralli**

RESUMO

Neste trabalho descrevemos como um grupo de estudantes de ensino superior em Química elaboram significados sobre tridimensionalidade de estruturas moleculares em uma disciplina de Química Orgânica com o tema de projeções de Newman e diagramas de energia. A partir de uma abordagem qualitativa, realizamos a filmagem desses alunos em atividades que envolveram o uso de modelos moleculares materiais, transcrevemos as falas dos alunos e analisamos os dados a partir da ATD. Observamos nos dados que os estudantes, ao procurarem realizar as atividades propostas sem ter modelos moleculares comerciais a sua disposição, apresentam um tensionamento no sentido de não conseguirem se referir aos elementos tridimensionais da estrutura molecular, na ausência de um modelo concreto. Também observamos que os alunos improvisam a materialidade da estrutura molecular com os materiais à disposição e que a realização da atividade com os materiais adequados viabiliza percepção e compreensão mais pormenorizadas, evidenciadas pelo uso que os estudantes fazem da linguagem nas atividades. A concepção de domínio de uma ferramenta cultural é utilizada para auxiliar na análise processual epistemológica.

Palavras-chave: Visualização. Tridimensionalidade. Ensino Superior. Ensino de Química. Sociocultural.

ABSTRACT

In this work we describe how a group of students of higher education in Chemistry elaborate meanings about three-dimensionality of molecular structures in a discipline of Organic Chemistry with the theme of Newman projections and energy diagrams. From a qualitative approach, we filmed these students in activities that involved the use of plastic molecular models, transcribed the students' speeches and analyzed the data with elements from ATD framework. We observed in the data that the students, when trying to carry out the proposed activities without having commercial molecular models at their disposal, present a tension in the sense of not being able to refer to the three-dimensional elements of the molecular structure, in the absence of a concrete model. We also observed

* Doutor em Educação e Licenciado em Química pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Assistente Doutor da Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil. Endereço para correspondência: Rua Cristóvão Colombo, 2265, Jardim Nazareth, São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil, CEP: 15054-000. E-mail: jackson.gois@unesp.br.

** Mestre em Ensino e Processos Formativos e Licenciado em Química pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Docente do Ensino Básico em instituições privadas, São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil. Endereço para correspondência: Rua Cristóvão Colombo, 2265, Jardim Nazareth, São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil, CEP: 15054-000. E-mail: amaioralli@gmail.com.

that students improvise the materiality of the molecular structure with the materials at their disposal, and that the performance of the activity with the appropriate materials enables a more detailed perception and understanding, evidenced by the students' use of language in the activities. The domain conception of a cultural tool is used to assist in the epistemological procedural analysis.

Keywords: Visualization. Spatial skills. Higher education. Chemistry education. Sociocultural.

RESUMEN

En este trabajo describimos cómo un grupo de estudiantes de educación superior en Química elaboran significados sobre la tridimensionalidad de las estructuras moleculares en una disciplina de Química Orgánica con el tema de proyecciones de Newman y diagramas de energía. Desde un enfoque cualitativo, filmamos a estos estudiantes en actividades que involucraron el uso de modelos moleculares moleculares, transcribimos los discursos de los estudiantes y analizamos los datos con elementos del marco ATD. Observamos en los datos que los estudiantes, al intentar realizar las actividades propuestas sin tener a su disposición modelos moleculares comerciales, presentan una tensión en el sentido de no poder referirse a los elementos tridimensionales de la estructura molecular, en el ausencia de un modelo concreto. También observamos que los estudiantes improvisan la materialidad de la estructura molecular con los materiales a su disposición y que realizar la actividad con los materiales adecuados permite una percepción y comprensión más detallada, evidenciada por el uso del lenguaje por parte de los estudiantes en las actividades. La concepción de dominio de una herramienta cultural se utiliza para ayudar en el análisis procedimental epistemológico.

Palabras clave: Avance. Tridimensionalidad. Enseñanza superior. Enseñanza de la química. Sociocultural.

1 INTRODUÇÃO

A estética tem papel fundamental na elaboração de significados. Na Educação em Ciências, há uma tendência de deslocamento da compreensão de estética como beleza dos métodos científicos para uma compreensão mais ampla sobre as respostas efetivas a experiências com ciências, que “incluem beleza, feiura, intriga, prazer, desprazer, irritação e surpresa” dentre outras (TYTLER; PRAIN; HANNIGAN, 2020, p. 2). A experiência estética com o conhecimento científico tem ampla relação com as representações utilizadas na divulgação, na produção, no ensino e na aprendizagem do conhecimento científico.

As habilidades de visualização e compreensão de representações estão relacionadas a conhecimentos e experiências que possibilitam entendimento e interpretações de informações. Vavra et al. (2011) observam que o termo visualização é utilizado de forma imprecisa nas áreas de Educação em Ciências, Educação Matemática e Leitura, com muitos termos mais ou menos equivalentes, como representação visual, meio visual, letramento de mídia, habilidade de comunicação visual, letramento visual, ilustrações, ilustrações de mídia etc. Esses termos podem designar o processo de nomear uma representação, de criar uma representação gráfica ou de imaginação visual, ou o produto gráfico. Dentre os destaques no estudo desses autores,

observa-se que a simples atividade de visualização não é efetiva de forma isolada.

A habilidade de visualizar e compreender representações científicas é considerada como central em diferentes áreas de conhecimento (FEITOSA; AQUINO; LAVOR, 2020). Em especial, se destaca que as habilidades em visualização espacial, diferentes das habilidades verbais e do raciocínio lógico, são geralmente subestimadas no contexto escolar e, portanto, não têm a devida atenção nos currículos (HEGARTY, 2014). Além disso, prevalecem os estudos com uso de modelos concretos e computacionais (OLIVER-HOYO; BABILONIA-ROSA, 2017).

Neste artigo, apresentamos uma pesquisa com alunos de Ensino Superior de um curso de Química de uma universidade pública do interior do estado de São Paulo. Discutimos resultados sobre como ocorre a internalização de representações químicas quando estudantes constroem, visualizam e manipulam modelos moleculares concretos na realização de atividades com projeções de Newman em uma disciplina de Química Orgânica. Em especial, destacamos o papel da linguagem no processo de internalização desses conhecimentos.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Ao considerar a formação de profissionais da Química, é fundamental o desenvolvimento de habilidades de visualização espacial e compreensão de diferentes tipos de representação de substâncias químicas. Em se tratando de formação de profissionais que atuarão em diferentes atividades na sociedade, como o ensino, a pesquisa científica, a fabricação de substâncias químicas, dentre outras, é necessário que saibam lidar de forma apropriada com a grande quantidade de representações químicas que utilizamos.

2.1 Visualização e tridimensionalidade em Química

A percepção de que habilidades de visualização são importantes para a Educação em Química não é recente (MAHAFFY, 2004) e exemplifica a preocupação da área de Ensino de Ciências em melhorar tanto a formação profissional de diversas áreas de conhecimento quanto os variados níveis de ensino (FERK et al., 2010). Nesse sentido, estudantes de todos os níveis de aprendizado deveriam realizar atividades de ensino em que a manipulação de estruturas tridimensionais e a visualização de suas respectivas representações estivessem presentes.

Em um estudo sobre como alunos desenham esboços de estruturas moleculares,

Cooper, Stieff e Desutter (2017) apontam que atividades de criação de estruturas moleculares são um componente crucial na aprendizagem de Química e auxiliam na compreensão de conceitos em processos de ensino e aprendizagem. Outro aspecto importante enfatizado no trabalho é que, no nível superior em Química, a fronteira entre representações submicroscópicas (geralmente esferas) e simbólicas (estruturas de Lewis e projeções de Newman) se torna cada vez menos nítida.

Na formação de professores de Ensino Básico em Química, é importante viabilizar a compreensão da natureza particulada da matéria, bem como a compreensão correta dos fenômenos em nível molecular. Nesse sentido, a compreensão correta das representações químicas favorecerá a aprendizagem das demais concepções químicas. Em uma pesquisa sobre a compreensão de licenciandos em Química sobre a natureza particulada da matéria, Yakmaci-Guzel e Adadan (2013) verificaram o nível de entendimento de um grupo de 19 licenciandos em química acerca desse tema, por meio de atividades que envolveram a construção de representações moleculares e discussão em grupo. Os autores observaram que a maior parte das concepções alternativas dos estudantes de licenciatura sobre a natureza particulada da matéria foi modificada, o que perdurou após um período de 17 meses.

Considerando especialmente os aspectos de tridimensionalidade, Urhahne, Nick e Schanze (2009) mostram dados que evidenciam que a aprendizagem de alunos iniciantes de Química, no Ensino Superior e Médio, comparando o uso de simulações tridimensionais e figuras bidimensionais, foi muito similar. Nesse sentido, o estudo demonstrou que visualizações tridimensionais são mais efetivas para estudantes mais jovens ou que ainda não tiveram experiências de aprendizagem com representações visuais em diferentes formatos na química.

No entanto, deve haver um cuidado especial ao se elaborar atividades de ensino com uso de representações tridimensionais em processos de ensino e aprendizagem. Em um estudo com alunos de ensino superior em Química Geral, Barak e Dori (2005) mostram que apenas a visualização de representações químicas bidimensionais e tridimensionais não é suficiente. Os dados desses autores evidenciam que construir ativamente, e não apenas visualizar, resulta em melhor aprendizagem por parte dos alunos. Com isso, a visualização e a construção de modelos tridimensionais possibilitam melhor entendimento conceitual em Química.

Ao realizarem uma revisão da literatura acerca do que estudantes de Química deveriam aprender, Cooper e Stowe (2018) observam que há uma concordância sobre a importância de alguns temas, como estudos sobre engajamento, visualização e representação

ter cursado a disciplina de Química Orgânica anteriormente.

2.2 Sociocultural e visualização

Com relação ao enfoque teórico, de acordo com Prain e Hand (2019), as abordagens cognitivistas e socioculturais podem ser observadas nas pesquisas sobre o uso de visualizações na Educação em Ciências. Nessa mesma linha, escolhemos a perspectiva sociocultural como ponto de partida conceitual para compreender como estudantes de Ensino Superior em Química elaboram significados ao utilizarem modelos moleculares concretos sobre projeções de Newman em uma disciplina de Química Orgânica, tanto em função de nosso interesse de pesquisa quanto pelo fato de este referencial teórico ainda estar subestimado na área de Ensino (SANTOS; ARROIO, 2016).

Nesse sentido, a abordagem sociocultural possibilita a identificação de condições múltiplas e variadas que possibilitam os alunos desenvolverem a capacidade de utilizar as representações científicas. Tytler et al. (2020) adotam a abordagem sociocultural para descrever de forma microetnográfica como um grupo de alunos do sétimo ano do ensino fundamental emprega as representações científicas como suporte para a elaboração da habilidade de raciocinar cientificamente. Para isso, eles utilizaram dados sobre as conversas, os gestos, a escrita e a construção de representações visuais construídas pelos alunos como base para seu estudo. O resultado foi que os alunos passaram a falar usando referenciais tridimensionais ao fazerem desenhos sobre classificação de flores e astronomia. Os autores concluem que são necessárias condições para elaboração de significados, sendo uma delas o uso efetivo de meios semióticos específicos, bem como condições pedagógicas efetivas, como o apoio docente.

Outros estudos que adotam a abordagem sociocultural em pesquisas sobre o uso de visualizações para o Ensino de Ciências ainda enfatizam a qualidade do discurso dos alunos sobre as representações como fundamental (PHILIPP; JOHNSON; YEZIERSKI, 2014), os mecanismos sociais na aprendizagem de conceitos que envolvem visualização (RAU; BOWMAN; MOORE, 2017) e a potencialidade que as interações sociais oferecem, especialmente com pessoas com mais conhecimentos sobre o tema (YASEEN; AUBUSSON, 2020).

Na perspectiva sociocultural, a linguagem que estudantes utilizam em processos de ensino e aprendizagem, bem como as atividades a ela ligadas, são consideradas como

ferramentas culturais (WERTSCH, 1999). As concepções de mediação e internalização (VIGOTSKI, 2001) auxiliam na compreensão das relações entre agentes, ações e ferramentas culturais e materiais nos processos de elaboração de significados. Desse modo, é possível colocar em foco a fala dos estudantes nos processos de aprendizagem, assim como os materiais utilizados, como representações químicas concretas e escritas.

Em especial, neste trabalho destacamos a concepção de domínio, decorrente de uma pormenorização da concepção vigotskiana de internalização. Nesse caso, Wertsch (1999) propõe que a ideia de internalização pode ser forte demais para descrever boa parte dos usos que fazemos das ferramentas culturais que nos cercam. Em lugar de internalização, ele elabora as concepções de domínio e apropriação. A concepção de domínio é definida como “saber usar um modo de mediação com facilidade” (WERTSCH, 1999, p. 87) em contraposição a uma total internalização, como no caso da contagem de um até dez com os dedos das mãos (VIGOTSKI, 2001, p. 138). Nesse sentido, o domínio de uma ferramenta cultural inclui a possibilidade de uso de ferramentas materiais, sem pressupor sua total internalização. Na relação entre agentes, ferramentas e ações, Wertsch (1999) propõe como unidade mínima de análise os agentes agindo com as ferramentas culturais, como determinantes para entender a ação mediada.

Em nosso trabalho, consideramos como ferramenta cultural a habilidade de estudantes do ensino superior de Química de falarem corretamente sobre os aspectos tridimensionais de uma estrutura molecular, após construírem e manipularem estruturas concretas (OLIVER-HOYO; BABILONIA-ROSA, 2017), dado que a simples visualização não promove entendimento conceitual (BARAK; DORI, 2005). Essa ferramenta cultural está intimamente ligada a outras ferramentas, como a escrita de representações associadas a tridimensionalidades e as ferramentas materiais utilizadas. No entanto, neste artigo, focamos o uso que os alunos fazem da linguagem. Em especial, focalizamos a percepção tridimensional como processo de visualização (VAVRA et al. 2011) e a linguagem utilizada pelos alunos sobre os aspectos energéticos quando da rotação da ligação simples entre carbonos (C3-C4 do 2-metil-pentano e C6-C7 do 4-etil-3,4-dimetil-5-(1-metil-etil)-octano) utilizando projeções de Newman. E essa ferramenta cultural tem relação com uma ferramenta material, a qual viabiliza a ação mediada, que são os modelos moleculares materiais.

momento. Considerando a aprendizagem dos discentes, no momento inicial das atividades observamos que a simples visualização anterior das representações escritas e dos mesmos materiais manipulados pela docente não trouxe certezas sobre como lidar com conhecimentos que envolvem a tridimensionalidade das estruturas moleculares.

Além de já terem presenciado o uso dos modelos concretos pela professora durante as atividades da disciplina, os estudantes também já sabiam que receberiam um *kit* de modelos moleculares para a resolução de exercícios no segundo momento da atividade. Soma-se a isso o fato de que os alunos tinham ciência de que a tarefa em duplas, dentre outras atividades, seria contabilizada como parte da avaliação. Esses elementos fizeram com que os estudantes expressassem preocupação sobre como resolveriam as atividades sem os modelos (Quadro 1).

A	Exemplos de unidades de significado	Observações
A1	Porque aqui vai ser a primeira rotação a... rotação quando tá tudo separado vai ser a maior energia... Aliás tudo junto vai ser a maior energia e aqui vai ser o... tipo quando tiver é... um metil... Ah, não sei explicar ... Porque tipo o... a rotação do metil vai variar.	Escrevendo representações químicas no papel.
A2	Não tô conseguindo enxergar a molécula.	Olhando a folha de papel com as representações escritas pelo colega da dupla.
A6	Eu também não sei a explicação porque tem mais energia... é desse jeito.	Juntando as pontas dos dedos com as mãos espalmadas, simulando colisão.
A8	Sim, você olha o carbono porquê? Você tem que olhar o hidrogênio, por que o hidrogênio é que tem que estar separado.	Argumentando que devem fixar o olhar nos hidrogênios da estrutura para resolver o problema proposto.
A10	Num tô entendendo. É a, tipo...	Usando as mãos para esticar um objeto imaginário no ar, ao tentar relacionar as conformações com o gráfico de energia.

Quadro 1 - Falas dos estudantes que evidenciam tensionamento inicial na resolução dos exercícios.

Fonte: Os autores.

As falas apresentadas no quadro 1 evidenciam um tensionamento resultante desses alunos tentarem utilizar uma linguagem adequada para se referirem à estrutura tridimensional da molécula, mas serem incapazes disso nesse momento. Os alunos utilizam expressões sobre suas dificuldades a respeito das possíveis explicações (A1 e A6), compreensão (A10) ou mesmo visualização (A2) no sentido de imaginar a estrutura tridimensional. No mesmo quadro, A8 focaliza os elementos errados da estrutura molecular na descrição das possíveis relações entre conformações e gráfico de energia.

Uma das duplas da sala teve uma ideia interessante para compensar, de alguma forma, a falta da ferramenta material, e quase todas as outras duplas decidiram fazer o mesmo. Eles passaram a segurar canetas e lápis ou utilizar as próprias mãos de forma a imitar uma

estrutura molecular tetraédrica.

Os eventos seguintes ao Quadro 1 mostraram os estudantes começando a utilizar as mãos, canetas e lápis para construir algo semelhante a uma estrutura molecular. Diferente dos resultados observados por Stull et al. (2012, 2016), observamos que a grande maioria dos alunos passou a utilizar os materiais alternativos para simular a tridimensionalidade molecular. Queremos destacar o papel da linguagem utilizada, no sentido de que os estudantes não estão falando de modo que se compreendam mutuamente.

4.2 Improvisação

O segundo aspecto relevante é que, na ausência de um *kit* de modelos moleculares próprio para a finalidade de construir estruturas moleculares, os estudantes utilizam quaisquer objetos que possam suprir essa necessidade, pelo menos em parte. Quando os alunos começam a improvisar o modelo com as mãos, lápis e canetas, o tensionamento vivenciado no início pela falta da ferramenta material é parcialmente resolvido. Os estudantes então recorrem ao modelo rudimentar para construir estruturas e visualizar as rotações ao redor dos carbonos. Ao inventarem uma materialidade na urgência da resolução do exercício, eles agora têm um terreno comum para negociar significados sobre as estruturas moleculares. Apesar de precário, o modelo com as mãos, lápis e canetas auxilia-os em diversos aspectos, como a negociação dos posicionamentos dos átomos e das ligações químicas. De fato, o arranjo possibilita que os alunos enumerem a quantidade de carbonos e hidrogênios da estrutura molecular e verifiquem quantos átomos de hidrogênio estão faltando em um dos carbonos (Quadro 2).

A	Exemplos de unidades de significado	Observações
A1	São dois... são dois... esse aqui é o metil... uai porque se tem o metil aqui um carbono aqui... falta duas ligações e dois hidrogênios.	Indicando com as mãos em uma estrutura molecular feita com canetas quais são os átomos que cada um dos materiais representa.
A5	Eu entendi o que ela falou: Quando tá assim tem repulsão, e quando tá assim , isso.	Mostrando as canetas em uma posição, depois em outra posição.
A8	Se tiverem um aqui e um aqui , dá pra juntar eles.	Apontando com o dedo para a caneta.
A11	Porque tá assim , ó. Aqui tá o CH ₃ . E aqui, aí, não sei fazer. Ah, enfim, é um negócio assim. Aí esse aqui é o C ₃ H ₇ .	Olhando para uma das mãos e apontando para ela com a outra mão.

Quadro 2 - Falas dos estudantes que evidenciam melhoria de compreensão ao utilizarem modelos improvisados.

Fonte: Os autores.

Os dados do quadro 2 mostram os alunos conversando sobre a estrutura molecular e

adequado.

Ao improvisarem a ferramenta material com mãos, lápis e canetas, os estudantes possibilitaram o seu próprio exercício da ferramenta cultural, já que estavam assistindo à professora utilizar há algum tempo em sala de aula, mas ainda não tinham tido oportunidade de exercitar. De acordo com Wertsch, “qualquer forma de ação é impossível, ou pelo menos muito difícil, sem uma ferramenta cultural e sem um usuário hábil em seu uso (isto é, o agente)” (1999, p. 57). Ao exercitarem o uso da ferramenta cultural, mesmo com material precário, os estudantes viabilizaram um domínio inicial dessa ferramenta, ou seja, possibilitaram que em algum momento futuro a possam utilizar com facilidade. Nesse sentido, os estudantes já haviam sido apresentados à ferramenta cultural ao assistirem às aulas, mas ainda não haviam exercitado o domínio sobre elas.

Não obstante as dificuldades que o uso desse material precário pode trazer, observamos que esse artifício possibilitou a realização de parte da atividade proposta e que os estudantes passaram a se referir aos aspectos da tridimensionalidade da estrutura de forma mais refinada. Assim, a iconicidade semiótica viabilizada pelos modelos tridimensionais possibilita que os alunos passem a se referir a essa tridimensionalidade com mais confiança. Nesse sentido, alguns objetivos da atividade já foram alcançados nesse momento, mesmo sem a ferramenta material adequada estar disponível, em função de os estudantes terem improvisado uma materialidade similar em alguns aspectos.

De maneira similar à observada por Tytler et al. (2020), os estudantes de ensino superior em Química passaram a falar utilizando referenciais tridimensionais após construir e manipular estruturas moleculares tridimensionais, mesmo que precárias. Com isso, nos dados que apresentamos, os alunos também estão fazendo uso efetivo dos meios semióticos específicos, além de usufruírem também de condições pedagógicas efetivas, no caso, o apoio da docente e do monitor da disciplina, este também presente na atividade.

A despeito da melhoria proporcionada pelo modelo rudimentar com mãos, lápis e canetas, a ideia dos estudantes oferece também dificuldades e limitações em função da própria materialidade inadequada. Foi possível ver as duplas realizando malabarismos com as mãos e braços na tentativa de verificar os mínimos e máximos de energia potencial na rotação ao redor de ligações simples entre carbonos e expressando dificuldade de compreensão devido à limitação do material improvisado (Quadro 3).

A	Exemplos de unidades de significado	Observações
A2	Roda... Vamos rodar... Não... Não é assim que roda.	Os dois alunos seguram o conjunto

		de lápis e canetas organizados anteriormente e tentam simular a rotação em torno de uma ligação, mas em sentidos contrários.
A4	Mas, quem tá girando aqui nessa molécula?	Apontando com a caneta para o papel, enquanto o colega usa um modelo com canetas.
A9	Como que eu vou saber qual que tem maior energia?	Após explicação do colega com modelo de canetas.
A10	Eu acho que eu fiz errado, num era pra eles estarem perto. Tem que estar longe. Eles tão em lados opostos. Num é isso?	Após usarem as mãos como modelos moleculares e desenharem as estruturas correspondentes no caderno.
A11	Não, mas não precisa rodar. Essa é uma rotação.	Tentando convencer o colega sobre os pontos corretos de rotação.

Quadro 3 - Falas dos estudantes que evidenciam dificuldades ao rotacionar o modelo rudimentar.

Fonte: Os autores.

A despeito das dificuldades trazidas pela ferramenta improvisada, fica destacada a relevância da presença da materialidade de estruturas moleculares para que ocorra o domínio dessa importante ferramenta cultural científica. Em especial, entendemos que, devido à improvisação dos estudantes, foi viabilizado um uso inicial da ferramenta cultural, no sentido de compreensão parcial das concepções. Os estudantes finalizaram as atividades do primeiro momento e as entregaram, sabendo que realizariam novamente os mesmos exercícios, mas com *kits* de modelos moleculares a sua disposição.

4.3 Disponibilidade de modelos adequados

O terceiro aspecto relevante é que, quando os estudantes utilizam o material adequado para a atividade, ocorrem mudanças sensíveis em sua linguagem e percepção tridimensional, no sentido de usufruírem de todas as potencialidades do material.

Ao receberem os *kits* de modelos moleculares, as duplas iniciaram novamente as atividades. Desta vez, conhecendo já a atividade e tendo um material adequado, os estudantes montam rapidamente as estruturas moleculares. O material favorece a construção de estruturas relativamente rígidas, com bom encaixe entre as peças, permitindo fácil rotação ao redor dos átomos. Em especial, o material viabiliza a correta disposição dos ângulos entre as ligações e também cores que destacam os diferentes tipos atômicos. Nesse sentido, são oferecidas inúmeras vantagens de visualização tridimensional em relação ao uso de canetas e lápis.

No início do segundo momento da atividade, os estudantes já começam com a

montagem dos modelos, sem procurar escrever no papel as fórmulas, algo que já tinham feito no primeiro momento. Em seguida, fazem a rotação em torno da ligação específica. Diferente do primeiro momento, agora eles realizam esta tarefa com rapidez e sem malabarismos (Quadro 4). Uma das duplas (A6 e A7) não havia compreendido como deveria ser feita a rotação ao redor da ligação C3-C4 no momento inicial da atividade. Ao começarem a utilizar os modelos comerciais, percebem logo de início o que seria essa rotação, e começam a rir de si mesmos sobre isso, no sentido de não terem percebido logo no começo. De alguma forma, essa dupla considerou a concepção de rotação ao redor de ligação C3-C4 como algo fácil.

A	Exemplos de unidades de significado	Observações
A1	Aí, o mínimo vai ser a conformação anti, que vai ter menor energia, que vai ter um carbono aqui e outro aqui.	Mostrando as posições dos átomos no modelo molecular.
A3	Não seria a menos energética essa? Por que aqui não tem repulsão.	Indicando os grupos volumosos ligados aos carbonos de interesse.
A4	Esse é o mais baixo o nível energético. Aí, o que que a gente vai fazer agora? A gente vai mudar pra sessenta graus, certo? Esse se mantém e a gente vai mudar só aqui.	A estudante consegue realizar uma rotação de aproximadamente 60° com o uso do modelo molecular comercial.
A8	Não, você olha só o C3 e C4. Aí você vai rotacionando de 60 em 60, tipo assim ó. Na verdade, você vai olhar os carbonos, tipo assim quando eles tiverem bem próximos desse aqui.	A8 percebe, com o auxílio de um monitor e com modelos comerciais, a centralidade dos carbonos para a resolução da atividade.

Quadro 4 - Falas dos estudantes quando usam os modelos moleculares comerciais.

Fonte: Os autores.

O quadro 4 mostra falas precisas e detalhadas dos estudantes, sobre as estruturas químicas, ao utilizarem os modelos comerciais. No momento em que passam a utilizar os modelos moleculares adequados, também melhoram a percepção tridimensional da estrutura molecular, especialmente no que se refere à rotação em torno das ligações simples de carbonos e do volume relativo ocupado pelos agrupamentos atômicos. Nesse sentido, os estudantes começam a fazer um uso pleno da ferramenta cultural, por estarem utilizando a ferramenta material adequada. O tensionamento inicial da falta de material que já conheciam só é resolvido plenamente com o uso dos modelos moleculares adequados fornecidos a eles.

Ao disporem do material adequado para construírem e manipularem as estruturas moleculares, os estudantes puderam exercitar o uso pleno da ferramenta cultural. Entendemos que, nesse momento, passaram a utilizar a ferramenta cultural com facilidade, o que é entendido como domínio da ferramenta cultural.

No primeiro momento da atividade, quando utilizaram mãos, lápis e canetas, consideramos que os estudantes iniciam uma elaboração da ação mediada, ao empregarem a linguagem apoiada na materialidade do modelo rudimentar. Isto quer dizer que, sem o modelo

rudimentar, os alunos não eram capazes de falar a respeito da estrutura molecular do composto químico presente no exercício e, então, passam a conseguir falar sobre ele ao construírem uma estrutura que se assemelha ao composto. Neste segundo momento, ao utilizarem os materiais adequados para construir as estruturas moleculares, ocorre uma transformação da ação mediada em função de ser introduzido um novo meio mediacional, com propriedades materiais externas que possibilitam a execução de novas ações. Com isso, a inserção e o uso de uma nova ferramenta material na ação mediada tornaram-na mais efetiva e possibilitou o desenvolvimento de novas habilidades. Após serem apresentados à ferramenta cultural nas aulas, e no momento de uso dos lápis e canetas ter havido um início da ação mediada, agora temos uma consolidação dessa ação, motivada pelo uso de material adequado.

Por fim, relatamos um último fato sobre o uso de modelos moleculares por parte de alunos do curso de Química. Observamos que apenas uma das duplas da sala, e que não era uma das duplas-foco do estudo, não utilizou modelos moleculares, mãos, lápis ou canetas para a resolução dos exercícios. A dupla entregou as respostas corretas para a atividade, sem precisar de qualquer apoio externo. Foi verificado que um dos membros da dupla estava fazendo a disciplina pela segunda vez. Assim sendo, entendemos que este membro da dupla já tinha domínio da ferramenta cultural em destaque e não necessitou, portanto, de modelos moleculares para realizar as atividades.

Nesse sentido, é possível que após realizarem as atividades com modelos moleculares, tendo desenvolvido domínio da ferramenta cultural, os estudantes não necessitem mais utilizá-los em atividades similares. Essa observação também se assemelha aos dados analisados por Stull et al. (2012, 2016), em que parte dos estudantes não utilizaram os modelos moleculares disponibilizados a eles, mesmo após incentivo verbal. É importante observar que cerca de metade dos estudantes nas pesquisas desses autores já haviam cursado a disciplina de Química Orgânica anteriormente, o que pode ter favorecido o domínio em um primeiro momento. Diferente desses autores, entendemos que o motivo da negativa de uso por parte dos estudantes será devido ao processo de internalização da ferramenta cultural, viabilizado pelo uso efetivo de um meio semiótico disponibilizado aos alunos em atividades didáticas (TYTLER et al., 2020). Contudo, consideramos necessários mais dados para afirmar de forma conclusiva esse aspecto.



HISTÓRICO

Submetido: 17 de março de 2021.

Aprovado: 30 de maio de 2021.

Publicado: 17 de setembro de 2021.
