

**DESENVOLVENDO HABILIDADES VISUOESPACIAIS: USO DE SOFTWARE DE
CONSTRUÇÃO DE MODELOS MOLECULARES NO ENSINO DE ISOMERIA
GEOMÉTRICA EM QUÍMICA**

**(Developing visuospatial abilities: Use of a molecular model building software for
teaching geometric isomers in chemistry)**

Daniele Raupp [dtraupp@gmail.com]

Agostinho Serrano [asandraden@gmail.com]

PPGECIM – Universidade Luterana do Brasil

Av. Farroupilha, nº 8001, Prédio 14, Sala 218 · Bairro São José.
92425-900, Canoas, RS.

Marco Antonio Moreira [moreira@if.ufrgs.br]

Instituto de Física da UFRGS

Caixa Postal 15051

91330-520, Porto Alegre, RS.

Resumo

Estudos experimentais e exploratórios no campo de representações revelam que os estudantes possuem dificuldades em transitar entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e simbólico. A habilidade necessária para transitar entre os níveis representacionais é chamada de habilidade visuoespacial – derivada do conceito visualização espacial. A experiência com a manipulação de modelos, bem como uso de ferramentas de construção de modelos parecem ser um fator importante no desenvolvimento das habilidades visuoespaciais. Com base nesses pressupostos foi desenvolvido um método didático a ser utilizado com estudantes de Química, fazendo uso de ferramentas computacionais para visualização e compreensão de representações de conteúdos da Química, objetivando um ganho representacional e em habilidades visuoespaciais. Este método foi testado em sala de aula e alguns resultados são reportados neste artigo.

Palavras-chave: representações; softwares de construção de modelos em Química; habilidades visuoespaciais.

Abstract

Experimental and exploratory studies in the field of representations disclose that students have trouble transiting among the macroscopic, microscopic and symbolic levels of representation; as well as from one specific representation to another. The skill required to transit among those representations is called visuospatial skill – a derivative of the concept of space visualization. Expertise with the manipulation of models and using model building tools seem to be an efficient way to develop visuospatial skills. On that basis, it was developed a didactic method to be used with chemistry students, making use of computational tools for visualizing representations of chemistry concepts, aiming a gain in representational skills and in visuospatial abilities. In this paper, this didactic activity is thoroughly detailed for further usage by teachers – and some findings are reported as well.

Keywords: representations; model building software in chemistry; visuospatial skills.

Introdução

Os diversos sistemas de classificação utilizados em Química tanto para fazer previsões, quanto para construir explicações, são baseados na identificação de características dos diferentes níveis de representação (Stains e Talanquer, 2007). Segundo Gabel (1999) as representações estão classificadas em três níveis: macroscópico, microscópico e simbólico. Johnstone (1991) os detalha

da seguinte forma: o nível macroscópico corresponde às representações mentais adquiridas a partir da experiência sensorial direta e é construído mediante a informação proveniente dos sentidos; o nível microscópico está correlacionado às representações abstratas, como modelos; o nível simbólico expressa os conceitos químicos a partir de fórmulas, equações, dentre outros. Johnstone (1993) defende que para compreender a Química é preciso dominar os três diferentes níveis de representação.

A habilidade necessária para promover a transformação entre representações 2D e 3D, por exemplo, é chamada de habilidade visuoespacial – derivada do conceito visualização espacial, como argumenta Wu e Shah (2004) utilizando diversos estudos que tentam estabelecer correlações entre a habilidade visuoespacial e o uso de diferentes representações. Pode-se argumentar também, como é possível conjecturar, que a transição entre os diferentes níveis de representação de um fenômeno químico está diretamente vinculada a esta habilidade. A visualização espacial é uma das categorias da habilidade espacial que segundo Choi (2001 apud Seabra e Santos, 2004) compreende ainda a rotação mental e a percepção espacial. Essas três categorias envolvem o pensar em imagens, bem como a capacidade de perceber, transformar e recriar diferentes aspectos do mundo visual e espacial. O termo *visualização* conforme Gilbert (2005) possui dois principais significados:

- *Visualização externa* - cujos modelos são representados por percepção visual;
- *Visualização interna* - em que os resultados da percepção estão representados na mente, ou seja, internamente.

A visualização em Química é ponto fundamental, pois sua aprendizagem envolve habilidades visuoespaciais que dão suporte para realizar determinadas operações cognitivas espacialmente. É através destas operações que nos tornamos capazes de internalizar as visualizações externas, para então manipularmos as estruturas mentalmente, podendo externalizá-las após esse processo.

Gilbert (ibid), em um extensivo trabalho de revisão sobre o tópico de raciocínio visuoespacial, chega afirmar que, para a compreensão das estruturas 3D, o uso de modelos desempenha um papel fundamental. Os modelos utilizados podem variar desde construção de moléculas com materiais simples (palitos e bolas de isopor) até modelos construídos computacionalmente. Wu e Shah (2004) concordam, pois afirmam que a experiência com a manipulação de modelos, bem como uso de ferramentas de construção de modelos parecem ser cruciais no desenvolvimento das habilidades visuoespaciais e esse desenvolvimento ocorrendo, conseqüentemente auxilia os alunos na resolução de problemas químicos e representação de conceitos no nível microscópico e simbólico. Sendo assim, podemos citar Silva e Ribeiro (2008) ao argumentar que:

Para superar essas dificuldades [de compreensão de modelos químicos], pesquisadores e educadores têm sugerido uma variedade de abordagens instrucionais, como, por exemplo, o uso de modelos e ferramentas tecnológicas.

Um exemplo da dificuldade de transitar entre diferentes representações pode ser encontrado no tópico Isomeria Geométrica¹ que pertence ao campo conceitual da Química Orgânica. A comunicação deste tópico, dentro do meio científico e acadêmico, envolve o uso extensivo de representações. Isso porque, muitas vezes não podemos fazer previsões ou explicar fenômenos somente fazendo uso da fórmula estrutural plana, devendo fazer uso também de formas tridimensionais ou perceptíveis no espaço tridimensional.

¹ Isômeros geométricos são diferentes compostos que apresentam a mesma fórmula molecular, podendo ser diferenciados apenas por sua estrutura tridimensional.

A pesquisa no impacto das representações computacionais em estudantes pode auxiliar na compreensão do papel das tecnologias de informação e comunicação no mundo atual.

A química é um campo extraordinariamente fértil para a aprendizagem visual. O sistema visual é, portanto, um poderoso recurso educacional (Jones et al. 2001).

Dentre as ferramentas tecnológicas, os softwares de visualização e construção de modelos têm ajudado os alunos de maneira efetiva, tal como as pesquisas na área de educação química têm mostrado, pois apresentam múltiplas representações, fazem uma conexão com o nível macroscópico, possibilitam a transformação de representações bidimensionais em tridimensionais e usam informações explícitas. Sendo assim, é apresentada neste trabalho uma metodologia didática que faz uso intensivo de softwares de construção de modelos químicos com o objetivo de melhorar a habilidade visuoespacial de estudantes de química e, conseqüentemente, sua capacidade de compreender conceitos químicos fortemente vinculados à visualização espacial de espécies químicas. Antes, porém, é apresentada uma fundamentação teórica que orientou a metodologia e permitiu interpretar os resultados.

A teoria dos campos conceituais e o papel das representações

Foi escolhido como referencial teórico deste trabalho a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gerard Vergnaud, que apresenta um vínculo explícito entre o conceito e as representações associadas a ele. Este trabalho tem seu foco especificamente em um dos conjuntos que formam o conceito, dentro do aporte de TCC: o conjunto das representações (simbólicas). A Representação é o conjunto das formas de linguagem que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento.

O conceito de Conceito de Vergnaud (Vergnaud, 1997) é composto por três conjuntos $C = (S, I, R)$ onde:

- S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;
- I é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto;
- R é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) que podem ser usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas.

A representação simbólica é uma questão essencial para o ensino de Química. Habraken em um de seus artigos publicados em 2004 comenta sobre a utilidade da representação:

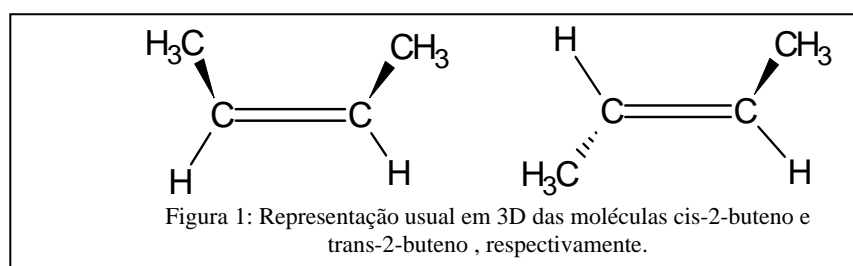
A utilidade da representação gráfica reside no fato de que ela constitui uma espécie de impressão digital tridimensional para cada um dos diferentes compostos químicos. Cada substância tem sua própria individualidade e singularidade espacial. A representação estrutural é mais do que apenas um rótulo gráfico de identificação molecular.

composição de elementos, mas a disposição quanto aos átomos desses elementos em cada composto era diferente (Fonseca, 2001). Este fenômeno está relacionado à existência de dois ou mais compostos químicos com fórmulas e pesos moleculares idênticos, mas propriedades diferentes. Por ser menos freqüente nos compostos inorgânicos, é considerada uma qualidade própria das substâncias orgânicas. O grande número de combinações possíveis das longas cadeias de carbono favorece seu aparecimento. A descoberta do fenômeno da isomeria mostrou que as propriedades das substâncias químicas não dependem unicamente de sua composição, mas também do arranjo espacial dos átomos dentro da molécula.

Representações e visualização em isomeria

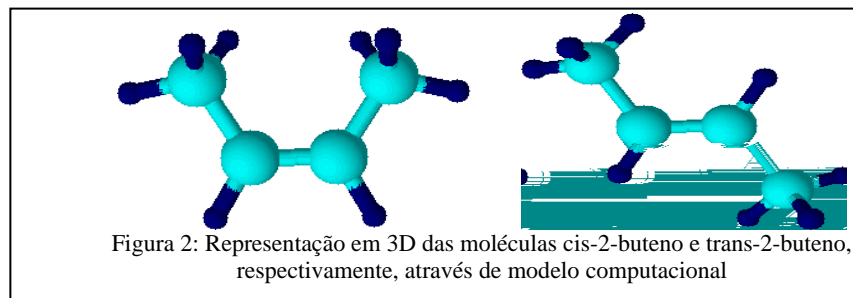
Para isômeros planos a fórmula estrutural plana, permite naturalmente a diferenciação dos isômeros, e estudantes em geral dominam esta representação. Porém a diferenciação de isômeros geométricos não é possível com esse tipo de representação, pois somente a comparação entre representações em 3D é capaz de revelar as diferenças³.

A representação das moléculas em três dimensões pode ser feita de um modo simples, utilizando a Projeção de Fisher. Representam-se estas estruturas 3D em papel da seguinte forma: duas ligações planas; uma representada por uma cunha cheia, indicando que a ligação está saindo para frente do plano do papel e uma com a cunha vazada indicando que a ligação está saindo para trás do plano do papel. A Figura 1 mostra a representação usual das moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno, respectivamente



Porém esta estrutura pode dificultar a compreensão, sobretudo quando há necessidade de diferenciação dos isômeros. A Projeção de Fisher é uma idéia brilhante para transmitir informações tridimensionais ao leitor; contudo hoje em dia dispomos de meios para representação tridimensional de moléculas mais eficientes. Um exemplo está ilustrado na Figura 2, que é a representação da mesma molécula de metano através de um modelo computacional. A vantagem em relação à representação anterior é que o estudante pode manipular os modelos e verificar a geometria da molécula através de uma visualização externa que será internalizada. Ao contrário da outra representação que o estudante deverá realizar mais operações internas para compreender a estrutura da molécula (convertendo a Projeção de Fisher em um modelo tridimensional).

³ Seja por meio de uma operação interna em estruturas tridimensionais disponíveis diretamente aos sentidos ou por meio de operações internas em estruturas tridimensionais imaginadas a partir de estruturas bidimensionais disponíveis sensorialmente.



De fato, para identificar isômeros geométricos, os estudantes precisam transformar a fórmula química em sua estrutura molecular, visualizar a possível configuração tridimensional e comparar as estruturas. Por conta dessa seqüência de operações, ser capaz de compreender e manipular mentalmente representações é um ponto crítico para os estudantes (Wu e Shah, 2004).

Essa foi uma das razões pela qual o tópico isomeria geométrica foi escolhido para testar o nosso método didático. Além da dificuldade de transitar entre os níveis de representação, alguns resultados de pesquisa em ensino e fatos químicos listados a seguir também contribuíram para a escolha:

- A diferenciação entre os isômeros geométricos é mais “sutil” quando comparada com os outros casos de isomeria. . Isomeria é um fenômeno que é ensinado e compreendido dentro do nível de representação microscópico, segundo a classificação de Gabel (1984). Esta “sutileza” pode ser compreendida por *experts* em Química que utilizam naturalmente diversos tipos de representações (Wu, Krajcik e Soloway, 2001), fato não observado em todos os estudantes e que dificulta a compreensão.
- A representação tridimensional – essencial para a compreensão dos diferentes isômeros geométricos – não é dominada por todos os estudantes (Keig & Rubba, 1993); em especial a transição 2D (fórmula estrutural plana) para 3D (forma geométrica). Assim, a atividade poderá auxiliar os estudantes a desenvolverem a capacidade de representar tridimensionalmente as espécies químicas cis e trans.
- Diferentes isômeros podem apresentar propriedades radicalmente diferentes e isto é um fator instrucional e motivacional importante para os estudantes. Como um exemplo, podemos citar a diferença entre o ácido butenodióico, que na sua forma trans é nomeado usualmente de ácido fumárico e na forma cis é denominado de ácido maleico. Estas duas formas têm propriedades físicas, químicas e até mesmo biológicas bastante distintas, respectivamente: sua solubilidade na forma cis é aproximadamente duas ordens de grandeza maior que na forma trans, a forma trans faz ligações de hidrogênio intermoleculares enquanto a forma cis faz intramolecular. Finalmente, a forma trans faz parte dos processos de produção celular de energia humana enquanto a forma cis é tóxica (Fonseca, 2001).

A utilização de softwares como ferramenta didática no ensino de isomeria geométrica

Com o objetivo de investigar como o uso de softwares de química impacta na compreensão dos diferentes níveis de representação químicos e representações bi- e tridimensionais, previamente discutidos, foi realizado um experimento com seis estudantes dos cursos de graduação de Engenharia Química, Química Industrial e Licenciatura em Química de uma universidade privada da Grande Porto Alegre, RS, Brasil, que estaremos descrevendo nesse trabalho. Relatamos agora esta experiência com o uso do software.

Nesse experimento foram realizadas, além do pré e pós-testes, entrevistas individuais filmadas imediatamente após a conclusão de cada um dos testes. Para a realização das entrevistas foi utilizada a estratégia conhecida como “*think aloud*”. Esse método de coleta de dados em entrevista basicamente requer que o entrevistador e o entrevistado mantenham constante diálogo a respeito do que o entrevistado está pensando durante a execução de uma tarefa proposta – tarefa esta que no nosso caso envolve o desenho dos isômeros cis e trans de espécies a partir do nome do composto, que foi fornecido. As entrevistas foram gravadas com posterior transcrição e análise das mesmas. O “*think aloud*” tem sido amplamente utilizado em investigações da psicologia cognitiva, muitas vezes para investigar exatamente como o entrevistado opera internamente a resolução de problemas. Mais recentemente, a abordagem tem sido utilizada para estudo das interações homem-computador e em outros contextos educativos (Gresty & Cotton, 2005).

O experimento foi realizado em três etapas:

Etapa 1 - Na primeira etapa um pré-teste de resolução de problemas foi realizado antes de qualquer contato com as ferramentas. O teste é composto por três questões sobre isomeria geométrica, onde os estudantes tiveram de representar em três dimensões as formas cis/trans dos seguintes compostos: *cis*-2-buteno e *trans*-2-buteno; *cis*-1,2-dibromociclopropano e *trans*-1,2-dibromociclopropano; Ácido *cis*-butenodióico (maleico) e Ácido *trans*-butenodióico (fumárico). Os estudantes dispuseram dos seguintes materiais relacionados para desenhar as estruturas: folhas de desenho, régua, lápis e borrachas, canetas esferográficas, conjunto de lápis de cor com 12 cores, conjunto de canetas hidrográficas com 12 cores.

Etapa 2 – Nesta etapa as aulas, propriamente ditas, foram aplicadas. Os estudantes foram instruídos em como utilizar a ferramenta ChemsKetch e, posteriormente, utilizaram-na para desenhar isômeros. Durante esta etapa, é necessário que os estudantes manipulem livremente a ferramenta de construção de modelos, pois é nesta etapa que acreditamos que ocorre a internalização de lógicas inerentes às representações computacionais.

- **Aula Inicial:** começamos a primeira aula explanando as ferramentas do software escolhido a ser utilizado durante os experimentos, ou seja, ACD/ChemSketch da ACDLabs. A versão freeware está disponível para download no endereço: http://www.acdlabs.com/download/chemsk_download.html.

Em primeiro lugar, a interface do programa permite que o estudante ou professor construa a molécula de forma simples e fácil. Inicialmente, o estudante pode, por exemplo, tentando construir a molécula de etano ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$), clicar na opção de selecionar o átomo de carbono no menu à esquerda (Figura 3 a). Em seguida, ao clicar no espaço em branco na tela o programa escreverá CH_4 , respeitando a valência do carbono e a necessidade de se preencher com átomos de hidrogênio as ligações restantes.

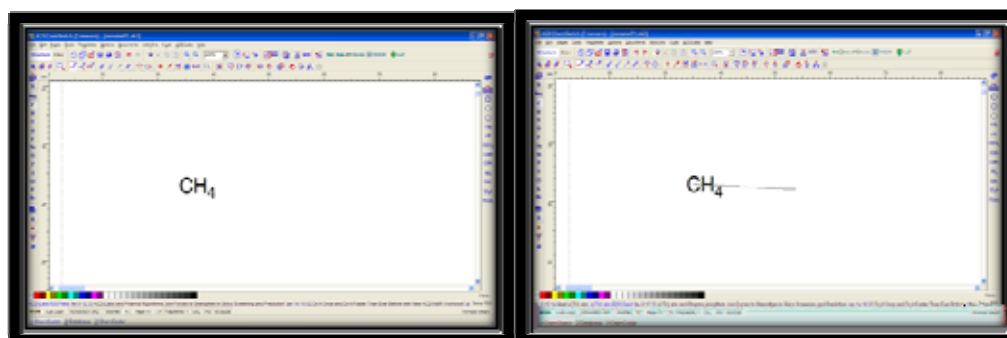


Figura 3: (a) Representação do CH_4 ; (b) de uma ligação extra com um novo elemento/grupo

Em seguida, pode-se clicar diretamente no grupamento desenhado e “arrastar” para a direita, e o programa desenhará uma linha, indicando a ligação deste grupo com outro a ser desenhado (Figura 3 b).

Na Figura 4 a, no final da nova ligação construída, selecionamos também um átomo de carbono, que foi descrito pelo programa como CH₃, visto que já existe uma ligação preenchida com o grupamento anterior. Imediatamente o programa ajusta a valência do CH₄ para acomodar a ligação recém construída, alterando-o para CH₃. Pode-se nomear automaticamente, utilizando a opção de nomear estruturas (Figura 4 b).

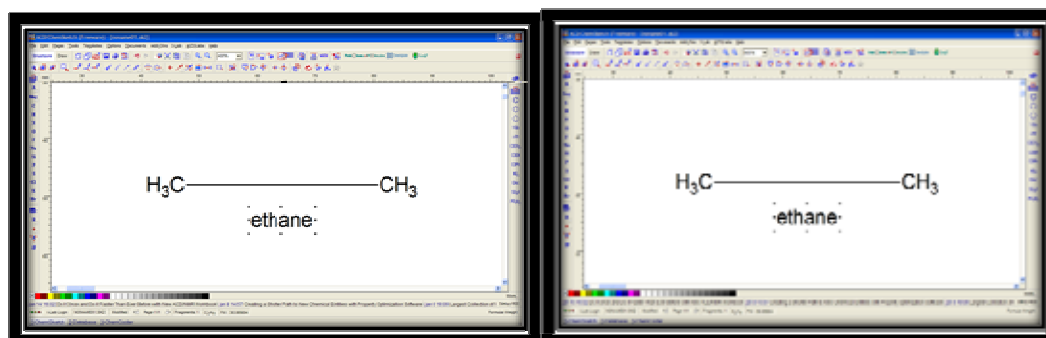


Figura 4: (a) Fórmula estrutural plana do etano; (b) Opção “nomear estruturas”

Agora, com a estrutura esquematizada, pode-se solicitar a “otimização” da estrutura. Assim, o programa utilizará algoritmos específicos para encontrar uma estrutura química próxima à esquematizada, que se pode ver na Figura 5 a.

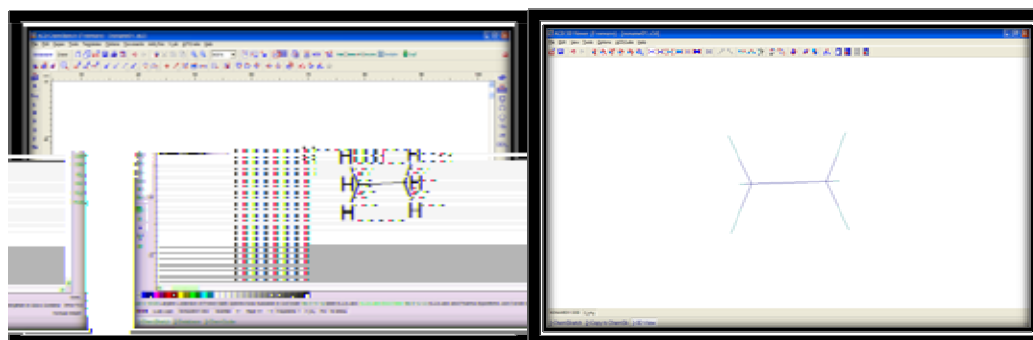


Figura 3: (a) Opção “Otimização da estrutura”; (b) Estrutura em 3D - *Wireframe*

Neste ponto, estamos com a estrutura desejada construída e otimizada. Esta estrutura muito provavelmente é tridimensional, mas não se pode observar corretamente com a visualização escolhida. Assim, podemos solicitar que a estrutura 3D seja mostrada. Então, o programa converte a estrutura 2D em uma estrutura 3D manipulável pelo estudante. A figura 5 b mostra a opção de visualização 3D chamada *wireframe*, em referência a uma estrutura feita de “arames”, sem uma representação específica diferenciada para átomos, apenas ligações com coloração terminal indicando o tipo de átomo ali presente. A interface do programa também é completamente alterada, surgindo esta estrutura tridimensional em outra janela.

Pode-se agora solicitar a visualização em outros esquemas, como a *Spacefill* (Figura 6 a), onde o raio médio dos elétrons de valência em torno dos átomos é utilizado para se preencher uma figura sólida. Neste caso, não se representam ligações, sendo esta representação o extremo oposto da anterior, *wireframe*, onde apenas as ligações são mostradas.

As Figuras 6b, 6c e 6d mostram outros tipos de representação, a saber: “balls and sticks” ou varetas e bolinhas, tipicamente semelhantes aos modelos utilizados em sala de aula; “sticks

only” que representam apenas as ligações, semelhantemente ao *wireframe*, mas com a visualização tridimensional destas ligações, permitindo uma apreciação do caráter geométrico da estrutura, o que é praticamente impossível com a *wireframe* apenas; finalmente a representação de “nuvem eletrônica” mostra o que seria o raio médio dos elétrons de valência como uma “casca esférica” em torno de cada átomo, dentro uma representação de “balls and sticks”.

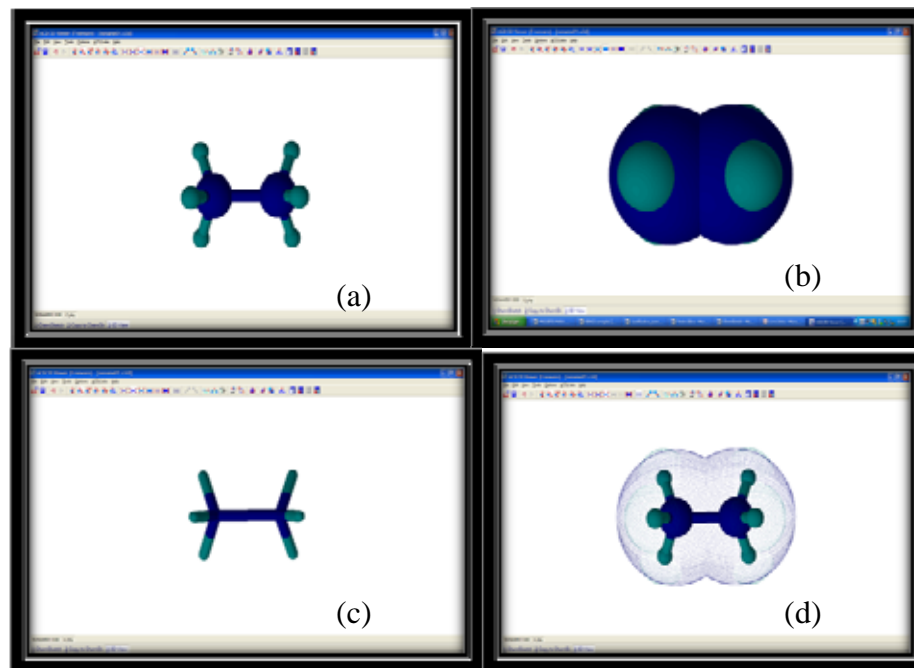


Figura 6. Representações 3D: À esquerda, acima (a), a representação “balls and sticks”. À direita, acima (b), “spacefill”. À esquerda, abaixo (c), “sticks only” e finalmente, também abaixo, mas à direita (d), a representação com “nuvens eletrônicas”.

Após a explanação das ferramentas, o software para a representação de moléculas-exemplo foi utilizado. Estas moléculas variam em complexidade, indo desde modelos simples até formas complexas (na ordem utilizada em sala de aula: Cloroetano, Propanol, Butanal, 3-metil-2-butanona, Ácido pentanóico, Ácido oxálico, Antraceno, Éter etílico, Butanoato de etila, 2,4-dicloro-2penteno, Anidrido Propanóico, Etanamida, N, N-Dimetil-Propanamida, 2, 3,3-Trimetil-Butanonitrila, Tolueno e Vitamina B3). Os alunos foram incentivados a interagir com as fórmulas planas e os seus respectivos modelos 3D exibidos no computador.

Foi utilizado também o programa Microsoft Word. Após a construção de cada uma das moléculas acima, tanto a fórmula estrutural quanto a 3D foram transferidas para o Microsoft Word (Pacote Microsoft Office) para que os mesmos observem a aplicabilidade do software na confecção de trabalhos, relatórios, artigos etc.

- **Aula(s) Subseqüente(s) – Construção de isômeros**

Após a manipulação e construção das espécies moleculares supracitadas no ChemSketch, foram devolvidas aos alunos as representações pré-teste para que os mesmos isômeros fossem construídos em 3D no Chemscketch e comparados com suas construções (estes registros também foram coletados). Nesta seqüência de aulas os estudantes podiam explorar livremente a ferramenta de construção de modelos moleculares e conversar entre si. Também utilizaram o processador de texto Microsoft Word para copiar imagens das moléculas por eles construídas e elaborar textos ou comparar diferentes isômeros em um texto único, conforme explanado acima.

Etapa 3 - Posteriormente, sem o uso do software, aplicamos um segundo teste onde, com os mesmos materiais os alunos representaram através de desenhos os seguintes pares de isômeros: cis/trans -1-cloro-2-bromociclobutano; cis/trans -1,2- dicloroeteno; cis/trans – 3 – cloro – 2 - buteno

Análise e interpretação dos resultados

Uma análise mais detalhada destes resultados está sendo preparada para publicação em um periódico de pesquisa. O objetivo deste trabalho é detalhar o método didático utilizado como um relato de experiência. De forma geral, o resultado da aplicação em seis estudantes universitários voluntários na foi extremamente satisfatório. Para ilustrar os resultados neste artigo, selecionamos o caso de GL, uma estudante que representa de forma satisfatória a evolução do grupo:

I. Pré-Teste

Inicialmente a estudante utiliza a representação da fórmula 2D para representar a estrutura molecular. Em seguida, faz uso da representação 2D completa para ilustrar os dois isômeros. A estudante nem sequer tenta utilizar uma representação tridimensional para esta espécie (Figura 7). Segundo a própria estudante, durante a entrevista:

“Eu me lembrei das aulas de (Química) Orgânica, sabe? Primeiro eu tentei construir aqui (fórmula 2D) para visualizar melhor, então eu me lembrei de como fazer a fórmula (representação 2D completa), mas em 3D eu não consegui fazer. Então eu fiz apenas em 2D, como eu lembrava das aulas.” (Estudante GL, durante a entrevista do pré-teste)”

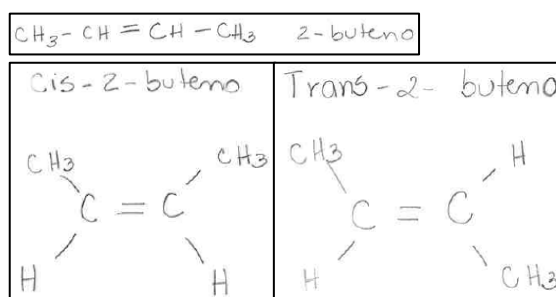


Figura 7 – Desenhos feitos por GL durante o pré-teste. Acima um esboço da fórmula 2D e abaixo as representações 2D das estruturas cis e trans.

O entrevistador, então tenta descobrir o que a estudante imagina ao tentar construir a representação 2D:

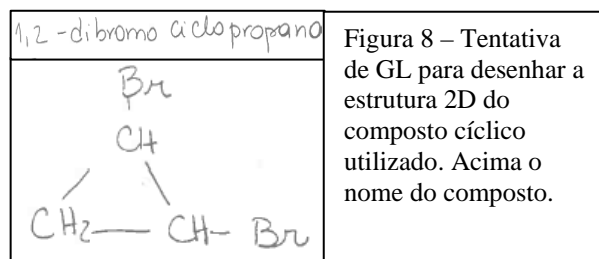
Entrevistador: “Ok, e quando você desenha a fórmula 2D, na sua cabeça, você imagina algo?”

GL: “não”

Entrevistador: “Nenhuma imagem de molécula, nada?”

GL: “Eu apenas me lembrava das aulas usando o quadro-negro, o que o professor de Orgânica desenhava no quadro-negro. Isto é tudo que eu me lembrava”

Quando a estudante é solicitada a desenhar a estrutura cis e trans do 1,2-dibromociclopropano, ela pára e apenas consegue desenhar o esboço da fórmula 2D (Figura 8):



Entrevistador: “Você apenas escreveu o esboço da fórmula 2D”

GL: “Sim, a fórmula”

Entrevistador: “A fórmula química 2D e parou?”

GL: “Não consegui construir a estrutura 2D.”

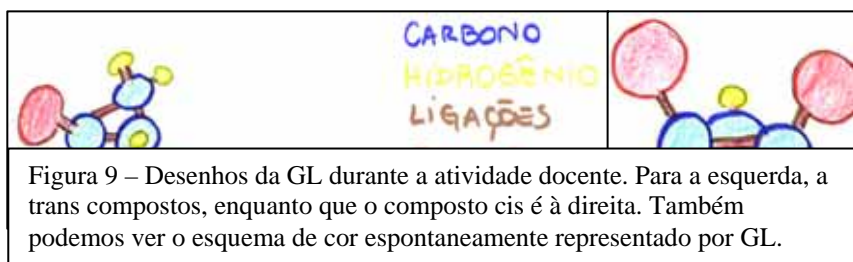
Entrevistador: “Você não conseguiu construir”

GL: “Eu não consegui, aham”.

A estudante acrescenta, durante a entrevista, que é apenas capaz de imaginar partes da molécula onde ela consegue formar uma imagem mental dos orbitais moleculares sigma ou PI. Com algum esforço, GL pode até imaginar partes da molécula onde estes orbitais não são “imaginados”.

II. Durante a atividade

Durante a intervenção, a estudante permaneceu engajada ativamente (assim como os demais estudantes) em todas as atividades propostas, acima descritas. A estudante também desenhou uma figura do dibromociclopropano, como visto por ela no software (Figura 9). Ela espontaneamente reproduziu o esquema de cores que usou para desenhar os átomos (durante o pré-teste, a estudante afirma que não imaginava átomos com cores). A estrutura desenhada pela estudante já tem um aspecto tridimensional completo.

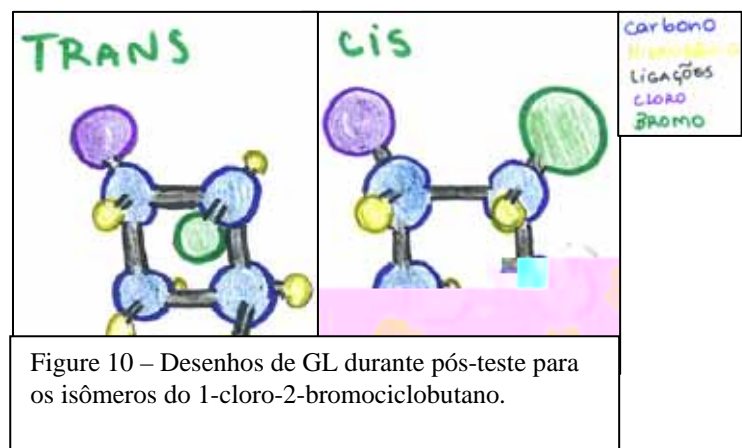


III. Pós-teste

Após a intervenção, durante o pós-teste, a estudante é capaz de, sem o uso do computador, desenhar estruturas 3D praticamente perfeitas tanto de compostos cíclicos como de alcenos (Figura 10). GL também, de forma espontânea, descreve o esquema de cores que ela adotou. Para chegar à estrutura 3D, GL faz uso de todas as representações 2D utilizadas previamente:

“Depois da aula com o software é mais fácil desenhar. Eu até brinquei durante a aula que eu queria apenas desenhar moléculas em 3D agora. É mais fácil visualizar”. (Estudante GL, durante a entrevista do pós-teste)

Durante a entrevista, GL afirma que para compostos não-cíclicos (alcenos), sua capacidade de imaginar em 3D não melhora substancialmente, mas sim sua capacidade de desenhar e representar a estrutura 3D destas espécies.



Contudo, para os compostos cíclicos:

GL: “[com relação a imaginar as estruturas cis e trans] Sim, eu podia [imaginá-las], mas eu não conseguia para a outra que era o ciclopropano, eu não sabia como fazer o cis e o trans. Eu não podia ‘ver’ o que mudava (entre o cis e o trans), agora consigo ‘ver’. A posição deste [grupo]

vem aqui e aquele vai para lá [usa suas mãos para indicar os diferentes posicionamentos dos grupos, acima e abaixo do anel central]”

Entrevistador: “Você atribui esta mudança a...”

GL: “ao uso do software”

Dessa forma, podemos tentar compreender o que se passa internamente na mente do estudante utilizando o referencial teórico de campos conceituais. O conceito de Isomeria (Geométrica) é fortemente vinculado, na realidade – dependente – da capacidade do estudante de representar internamente estruturas moleculares tridimensionais. A isomeria depende da capacidade de se diferenciar as estruturas trans e cis. Se o estudante é incapaz de, utilizando representações à sua disposição (como no caso do pré-teste), visualizar internamente as diferenças entre as duas estruturas, lhe é impossível aplicar o conceito de isomeria àquela situação problema específica (especialmente, no caso de GL, para compostos cíclicos). Sua evolução neste campo conceitual, portanto, está impedida pela sua incapacidade de utilizar corretamente a representação 3D. Após o uso do ChemSketch, a estudante é capaz de transladar entre diferentes representações com mais facilidade (Fórmula 2D, Estrutura 2D completa e Estrutura 3D) e, portanto, aplicar o conceito de isomeria àquelas situações problemas. A estudante, portanto, adquiriu com o uso do software, a competência representacional necessária para que evoluísse naquele campo conceitual de forma plena (apenas duas situações problema são possíveis em Isomeria Geométrica) chegando ao ápice do desenvolvimento cognitivo neste subcampo conceitual do Campo Conceitual da Química Orgânica. Além disto, pode-se observar que a figura do pós-teste é mais complexa, com muitos detalhes, cores e um uso coerente de perspectiva que os autores deste trabalho acreditam que foi apenas possível de ser adquirido com o uso do software conforme descrito na atividade, de forma bastante interativa. GL, após a atividade não apenas é capaz de desenhar as estruturas 3D dos compostos cíclicos, mas tem mais habilidade mental para desenhar os isômeros alcenos.

Outro fato a ser registrado é que GL não mais é apenas capaz de desenhar os alcenos onde existem orbitais sigma e pi. GL argumenta que, apesar de conseguir imaginar melhor as “nuvens eletrônicas” em torno de orbitais sigma e pi (provavelmente devido às aulas anteriores de química orgânica), restringe-se a utilizar a representação de *balls and sticks* (Figura 4a):

Entrevistador: “Esta espécie que você fala tem nuvens”

GL: “sim”

Entrevistador: “Você pode ver a estrutura cis e trans aqui?”

GL: “Sim. Quando eu representei no papel, usando o software [durante a atividade], eu representei desta forma para desenhar apenas porque a outra forma [representação com nuvens eletrônicas, Figura 6d] é mais difícil de desenhar.”

Quando inquirida mais tarde do porque de sua preferência pela representação de “nuvens eletrônicas” (Figura 6d) em suas imagens mentais de moléculas, GL explica que aprendeu que os elétrons são invisíveis, mas uma parte integral do átomo/molécula. Portanto, a representação de “nuvens eletrônicas”, para ela, ajuda na visualização do comportamento eletrônico da molécula e, portanto, “representa a molécula de forma mais precisa”. Pode-se ler esta necessidade dentro da Teoria de Campos Conceituais admitindo que o conceito de átomo e molécula está, para o estudante, indissociado do conceito de elétron como não tendo posição definida no espaço, e, portanto, a estudante sente a necessidade de incorporar este conceito às representações por ela imaginadas. Deve-se também observar, contudo, que para aplicação do conceito de isomeria, esta representação é inferior a outras como a *balls and sticks* (Figura 6a) pois “poluem” visualmente a representação molecular com informações desnecessárias ao conceito. Felizmente, a estudante conscientemente opta pela segunda representação quando em situações-problema de isomeria após o uso do software.

Conclusão

Concluimos que a atividade revelou-se satisfatória para promover uma evolução representacional que permitiu os estudantes (aqui analisado apenas o caso-exemplo de GL) progredir na aplicação do conceito de isomeria a uma classe de situações que antes não era possível. Nem todas as evoluções dos estudantes foi tão significativa como a de GL, mas todos apresentavam algum grau de dificuldade que impedia o desenho correto em especial dos isômeros cíclicos. Em um artigo, Vergnaud (1982) apresenta a proposta de que representações simbólicas úteis devem desempenhar um duplo papel:

1. Representações simbólicas têm que ajudar o estudante a resolver problemas que eles não conseguiram resolver sem a ajuda delas.
2. Representações também tem que ajudar o estudante a diferenciar estruturas e classes de problemas.

Acreditamos que o uso combinado do software de construção de modelos moleculares em 2D e 3D, bem como a atividade assim como detalhada neste artigo, possibilitou que estas representações desempenhassem este duplo papel. De fato, ajudaram os estudantes a resolver (situações)-problemas que não conseguiam resolver sem ajuda delas, mas também ajudaram os estudantes a diferenciar estruturas e classes de problemas, ao escolher a representação *ball-and-sticks*, por exemplo, ao invés da representação de nuvens eletrônicas para resolver situações-problema de isomeria, mesmo que o estudante tenha afirmado a necessidade de sempre imaginar os orbitais quando imagina moléculas. Assim, recomendamos fortemente o uso destes softwares tal como descrito neste artigo, em sala de aula de Química Orgânica.

Referências

- Choi, J. (2001). *Sex Differences in Spatial Abilities in Humans: Two Levels of Explanation*. In John R. Vokey and Scott W. Allen (Eds.), *Psychological Sketches 5ed* (pp.51 - 58), Lethbridge, Alberta: Psyence Ink.
- Fonseca, M. R. M. (2001). *Completamente Química: Química Orgânica*. FTD: São Paulo.
- Keig, P. F.; Rubba, P. A. (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 883-903.
- Gabel, D., Sherwood, R.D. & Enochs, L. (1984). Problem-solving skills of high school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 221-233.
- Gabel, D. (1999) Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Gresty, K.; Cotton, D. (2005) *Using a think-aloud protocol to evaluate an on-line resource for nursing students*. Mini Project for The Health Sciences and Practice Subject Centre, London. Acesso em 05 mai 2009. <http://www.health.heacademy.ac.uk/projects/miniprojects/gresty.pdf>
- Gilbert, J. K. (2005). *Visualization in Science Education*, Netherlands: Springer.
- Habraken, C. (2004). Integrating into chemistry teaching today's student's visuospatial talents and skills, and the today's chemistry's graphical language. *Journal of Science Education and Technology* 13(1), 89-94.
- Roque, N.D; Silva, J.L. (2008). A linguagem química e o ensino da Química Orgânica. *Química Nova*, 31(4), 921-923. Acesso em 12 abr 2009.
- <http://quimicanova.s bq.org.br/qn/qnol/2008/vol31n4/33-ED08026.pdf>

- Del Re, G. (2000). Models and analogies in science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6(1), 5 - 15.
- Johnstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Jones et al. (2001). *Molecular visualization in science education*. In Molecular Visualization in Science Education Workshop, Arlington, VA, Acesso em 02 abr 2009.
http://pro3.chem.pitt.edu/workshop/workshop_report_180701.pdf
- Seabra,R.;Santos,E.(2004). *Proposta de desenvolvimento da habilidade de visualização espacial através de sistemas estereoscópicos*. 4º Congresso Nacional y Iro. Internacional Rosário, Argentina.Acesso em 20 mar 2009.
http://rodrigoduarte.pcc.usp.br/Artigos/EGRAFIA_2004.pdf
- Silva, A; Ribeiro, N. (2008). Modelagem molecular de compostos orgânicos. III Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica.Fortaleza.
- Stains, M.; Talanquer, V. (2008). Classification of chemical reactions: Stages of expertise. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 771-793.
- Vergnaud, G. (1982). *A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems*. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). Addition and subtraction. A cognitive perspective. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167-181.
- Vergnaud, G. (1997). *The nature of mathematical concepts*. In Nunes, T. & Bryant, P. (Eds.) Learning and teaching mathematics, an international perspective. Hove (East Sussex), Psychology Press Ltd.
- Wu, H-K., Krajcik, J. S., Soloway, E. (2001) Promoting understanding of chemical representations: student's use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 821-842.
- Wu, H-K. & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492.

Recebido em 05/05/2009

Aceito em 14/05/2009