

UMA INVESTIGAÇÃO DA AQUISIÇÃO E DO USO DE REPRESENTAÇÕES MENTAIS NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM EM ESTEREOISOMERIA.

AN INVESTIGATION OF THE ACQUISITION AND THE USE OF MENTAL REPRESENTATIONS IN THE LEARNING PROCESS IN STEREOISOMERISM.

Daniele Raupp¹, José Cláudio Del Pino¹, Agostinho Serrano²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

² Universidade Luterana do Brasil - ULBRA

dtraupp@gmail.com

delpinojc@yahoo.com.br

asandraden@gmail.com

Resumo

Representações utilizadas na comunicação de conceitos químicos são internalizadas durante o processo de visualização. Para resolver problemas, além de acessar representações internas é necessário manipulá-las mentalmente utilizando habilidades espaciais, tarefa considerada difícil pelos estudantes. Como não temos acesso às representações internas, não sabemos se a representação utilizada durante o processo de ensino foi a mais potente na mediação do processo de internalização. Pesquisas recentes trazem forte embasamento de que gestos parecem estar associados às representações internas do sujeito. Consideramos que gestos representativos - estáticos ou animados - podem estar relacionados com processos que envolvam uso e manipulação de representações mentais e fornecem uma janela parcial para compreender não apenas o uso dessas representações internas, mas também o uso de habilidades espaciais, tais como percepção espacial, rotação mental e visualização espacial. Para investigar esse processo no ensino de estereoisomeria utilizamos uma linha metodológica que foca na análise de gestos representativos utilizando um aporte cognitivista.

Palavras-chave: Representações mentais, habilidades visuais, gestos representativos, representações 3D, ensino de estereoisomeria.

Abstract

Representations used in the communication of chemical concepts are internalized during the visualization process. To solve problems, in addition to access internal representations it is necessary to manipulate them mentally using spatial skills, a task considered difficult by students. As we have no access to the internal representation of students, we don't know if the

representation used during the teaching process was the most potent in mediating the internalization process. Recent research bring strong foundation that gestures seem to be associated with the subject's internal representations. We consider that representative gestures - static or animated - can be related with processes involving the use and manipulation of mental representations and provide a partial window to understand not only the usage of these internal representations, but also the usage of spatial skills, such as spatial perception, mental rotation and spatial visualization. To investigate this process in teaching stereoisomerism we used a methodological approach that focuses on the analysis of representative gestures, using a cognitive contribution.

Keywords: Mental representations, visual skills, gestures representative, 3D representations, teaching stereoisomerism.

Introdução

Em linhas gerais, teorias cognitivistas contemporâneas como as teorias Vygotsky (1896-1934) e Vergnaud (1933), pressupõem que as pessoas não captam diretamente o mundo exterior, mas que constroem representações mentais dele (MOREIRA; LAGRECA, 1998). Ambos teóricos consideram a representação como mediadora da comunicação e do pensamento (VYGOTSKY, 1998, VERGNAUD; RÉCOPÉ, 2000).

Uma vez que a Química é considerada a mais visual das ciências por fazer uso de uma grande variedade de representações (fórmulas, equações etc.) como forma de expressar conceitos (HABRAKEN, 1996), a construção de representações mentais pode auxiliar o processo de aprendizagem. Em se tratando especificamente da Química Orgânica, a complexidade dos conteúdos que envolvem resolução de problemas em nível 3D (BAKER, GEORGE, HARDING, 1998) justifica o fato de que para alguns estudantes o aprendizado pode ser difícil e algumas vezes traumático, uma vez que a tarefa de visualizar os aspectos tridimensionais de moléculas e suas relações com outras moléculas é considerada difícil (KURBANOGLU; TASKESENLIGIL; SOZBILIR, 2006). Podemos citar como exemplo o caso da estereoisomeria, quando os alunos são requeridos a identificar compostos diferentes que têm a mesma fórmula molecular e diferem apenas em suas estruturas espaciais. As representações mentais, nesse caso, podem ser adquiridas por meio da visualização de modelos moleculares. No entanto, após o processo de internalização, são as habilidades relativas à visualização que permitem manipular mentalmente as estruturas e fazer relações entre elas. Por isso existe uma necessidade de desenvolver as capacidades de visualização de todos os sujeitos envolvidos na resolução de problemas químicos (GILBERT, 2005).

Na busca de encontrar evidências da formação de imagens mentais e manipulação de representações, de modo a verificar o impacto do uso das representações externas, somente análise do discurso do estudante, não é capaz de proporcionar acesso às suas representações internas. Acredita-se que o acesso aos gestos que estudantes fazem ao utilizarem pensamento não-verbal pode fornecer alguma evidência sobre a internalização das representações (CLEMENT, 2008). Esses gestos podem estar relacionados com imagens mentais (estáticas ou animadas), que também estão vinculadas ao pensamento científico. De fato, como revêem Stephens e Clement (2010), as ciências cognitivas recentemente reforçam a noção de vários cientistas que o uso de imagens é uma forma importante de representações mentais em ciência (KOZHEVNIKOV, HEGARTY, MAYER, s.d). A linha metodológica descrita por Clement foca

na identificação, registro e análise de gestos descritivos, ou seja, aqueles gestos utilizados para descrever uma forma ou ação imaginária no ar. Estes gestos estão intimamente conectados, de acordo com a literatura recente, em campos como psicologia cognitiva e até mesmo pesquisa em educação, com imagens mentais estáticas ou dinâmicas.

Esse artigo tem caráter qualitativo, descritivo e exploratório. Nossa intenção é utilizar a contribuição de Clement e colaboradores no que acreditamos ser um suporte metodológico importante para a análise de gestos representativos utilizando os referenciais de Vygotsky e Vergnaud para complementar a tarefa, uma vez que a metodologia proposta por esses autores, não contribui significativamente com a questão teórica, visto que nos seus artigos existe pouca ou nenhuma conexão com um referencial teórico da área de Ensino de Ciências.

A perspectiva das teorias cognitivas

A Teoria do desenvolvimento cognitivo (ou Teoria da mediação) de Vygotsky (1896–1934) considera que o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio da mediação de instrumentos e sistemas de signos, produzidos culturalmente (LEFRANÇOIS, 1988). É por essa mediação que se dá “a internalização que pode ser definida como reconstrução interna de uma operação externa” (VYGOTSKY, 1998, p.74). Sendo assim, podemos considerar que, no ensino de Química, modelos moleculares são um tipo de representação externa que serve de suporte para a construção de uma representação interna. Roque e Silva comentam a utilidade do uso desses modelos: “O modelo molecular propiciou uma maneira de se estudar e entender melhor a estrutura molecular invisível a nossos olhos [...]”. Eles consideram que: “Com o aprendizado dessa forma de representação o químico não precisa mais ter o modelo concreto em suas mãos, ele consegue imaginá-lo a partir da fórmula estrutural desenhada” (2008 p.922).

Vergnaud (1996), por sua vez, considera que o conhecimento está organizado em um conjunto de situações e conceitos, denominado Campo Conceitual. Segundo a teoria dos Campos Conceituais, um conceito é uma tríade que envolve um conjunto de situações que dão sentido ao conceito; um conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito e um conjunto de significantes que podem representar os conceitos e as situações que permitem aprende-los. Para Vergnaud as representações ou signos simbólicos são “conjunto das formas de linguagem (ou não) que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento (o significante)” (1993, p.8). A representação simbólica, segundo essa teoria, não é apenas uma linguagem que permite a conceitualização, mas que a representação simbólica deve representar o problema e deve ajudar os estudantes a resolver problemas que, sem o auxílio dessas representações não seria capaz de resolver (1982). Para ambos, a representação simbólica é a chave para a internalização das representações externas que serão convertidas em representações internas, auxiliando o desenvolvimento cognitivo.

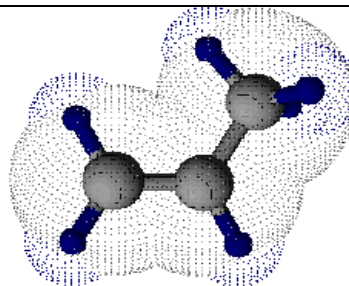
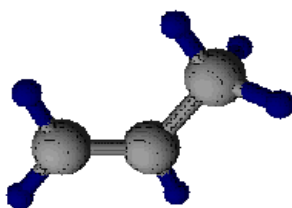
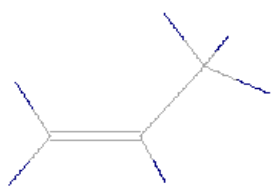
O processo de visualização e as representações externas

O processo de captação da representação externa depende da “[...] habilidade ou inteligência espacial envolve pensar em imagens, bem como a capacidade de perceber, transformar e recriar diferentes aspectos do mundo visual e espacial (SEABRA; SANTOS, 2004, p.2). As habilidades espaciais compreendem três categorias distintas: a) Rotação mental: a habilidade de manipular, rotacionar, torcer ou inverter objetos 3D (b) Percepção espacial: habilidade de fazer relacionamentos espaciais a partir de informações visuais. c) Visualização espacial: manipulação de problemas visuais complexos imaginando os movimentos relativos das partes internas de uma imagem (CHOI, 2001).

Existem várias representações utilizadas em modelagem molecular para referir-se aos compostos químicos. A Tabela 1 apresenta apenas algumas possibilidades de representações para a mesma molécula. Cada um desses modelos apresenta diferentes níveis de complexidade e oferece informações distintas sobre a estrutura da molécula. Toda essa gama de representações externas é utilizada para prestar apoio para a visualização interna, permitindo a resolução de problemas que envolvem a compreensão de estruturas moleculares e os conceitos a elas relacionados.

Tabela 1: Possíveis modelos para a molécula do hidrocarboneto prop-1-eno

| Modelo em forma de arames | Modelo de bolas e varetas | Modelo com nuvem eletrônica |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|



A importância e o papel desses diferentes tipos de modelos podem ser interpretados sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais, pois para Vergnaud, assim como há problemas mais facilmente resolvíveis do que outros, ou procedimentos mais fáceis do que outros haveria representações simbólicas mais potentes do que outras (1982). Sendo assim dependendo da situação que precisa ser resolvida dentro do campo da Química Orgânica, existem formas de representações de modelos moleculares que podem ser mais potentes que outras. “O sujeito deve, portanto, ser capaz de dar significado à representação externa do problema, mas para isso ele necessita representá-la também internamente, ou seja, mentalmente, através de imagens, proposições ou modelos mentais” (COSTA; MOREIRA, 2001, p.65). Segundo Zhang, (1997), dependendo da informação contida na representação externa, ela pode ser captada, analisada e processada por sistemas perceptivos, sendo assim esses detalhes da representação externa podem ser captados de modo que o estudante possa internalizar uma representação considerada mais poderosa.

As representações internas e os gestos

Cox (1999) ao investigar o processo de internalização, estudou as representações usadas solução de problemas, encontrando que os sujeitos diferiam na maneira de externalizar seu raciocínio. Alguns sujeitos produziam representações parciais, as quais pareciam funcionar principalmente como ajuda de memória; outros sujeitos construía representações bastante compreensíveis e pareciam se comprometer com o modelo de raciocínio no qual elas tinham função central. Finke (1989) definiu a geração de imagens mentais como a recriação ou re-invenção de uma experiência que em pelo menos alguns aspectos relembra a experiência de efetivamente perceber um objeto ou evento. Existe na literatura suporte para a idéia que o uso de imagens animadas é útil ao aprendizado. Frederiksen, White e Gutwill (1999) descobriram que estudantes de Ensino Médio a quem eram fornecidos apenas imagens iniciais e finais de um modelo agregado de um circuito elétrico tiveram menor rendimento que estudantes a quem foram fornecidos as imagens completas. Algumas das imagens mentais envolvidas parecem ser sinestésicas por natureza, quando, por exemplo, experts em Física imaginam manualmente um empurrão ou puxão

(CLEMENT, 2006); além disso, imagens sinestésicas parecem estar associadas com a intuição física (GOODING, 1996).

Como não temos acesso às representações internas dos estudantes, não podemos ter certeza de sua acurácia. Não sabemos se a partir das representações externas utilizadas no processo de ensino, o estudante construiu mentalmente a representação interna que representa, de fato, o problema. Para nos certificarmos do resultado do uso das representações externas no processo de aprendizagem, torna-se necessário “desenvolver uma visão mais clara conjunto de conceitos definidos para que possamos entender melhor estes processos de raciocínio não-formal” (STEPHENS; CLEMENT, 2010). Pesquisas recentes acreditam que os gestos parecem estar intimamente associados às representações internas do sujeito (LOZANO; TVERSKY, 2005; IVERSON; GOLDIN, 1997, 1998) e segundo a teoria da mediação de Vygotsky (1998, pp. 141) “[...] toda atividade representativa simbólica é plena desses gestos indicativos [...] sendo uma maneira de simbolizar atos, ações, sentimentos e objetos dentro do imaginário.” Os gestos que sugerem representações são considerados evidência de que os gestos não são apenas uma tradução verbal de significados sujeitos, mas podem revelar um pensamento não verbal (STEPHENS; CLEMENT, 2010).

Para verificar o impacto do uso de modelos moleculares computacionais no aprendizado de Estereoisomeria, utilizamos uma metodologia proposta por Stephens e Clement (2010) que tem por objetivo estudar o processo de raciocínio e formação de imagens mentais de um estudante.

Metodologia

a) Coleta de dados: Iniciou com a aplicação de um teste para verificar o nível de representação tridimensional que cada estudante era capaz de representar no papel baseado apenas em seus conhecimentos prévios. Após os estudantes tiveram contato com software CHEMSKETCH da ACDLabs¹ para que cada um construísse e visualizasse diversos modelos moleculares. As representações 3D utilizadas como suporte para o desenvolvimento das representações internas foram as mais utilizadas em modelagem molecular, que são: Wireframe (modelo em forma arames), Sticks (modelos semelhante a varetas) e Spacefill (modelo de espaços preenchidos pelos orbitais) Balls and Sticks (modelo de bolas e varetas). O software permite a rotação “manual” das moléculas onde com o manipulando o mouse é possível fazer rotação em um ambiente 3D e também a rotação automática opção que permite a molécula adquirir auto-rotação. Finalmente aplicamos um último teste semelhante ao primeiro. Após a conclusão dos testes, realizamos entrevistas baseadas na técnica *Think Aloud*. Para utilizar esta técnica os investigadores são aconselhados a dar instruções de um modo muito geral, simplesmente para o estudante “pensar em voz alta” enquanto executa a tarefa ou relata uma tarefa anteriormente executada verbalizando “tudo que passa pela sua cabeça”. Dessa forma evitamos a perturbação do processo de pensamento (COTTON; GRETTY, 2006). Todas as entrevistas foram filmadas para posterior análise do discurso verbal e dos gestos realizados durante o relato de execução da tarefa de representar no papel os diferentes isômeros.

b) Amostra - Como o foco do artigo é descritivo e exploratório uma pequena amostra é capaz de fornecer dados para uma análise intensiva. Portanto Participaram do experimento seis estudantes dos cursos de graduação de Química Industrial e Licenciatura em Química, que já haviam cursado as disciplinas que contemplavam esse conteúdo.

¹A versão freeware disponível para download no endereço: <http://www.acdlabs.com>

c)Etapas do experimento - A metodologia foi composta por três etapas, a saber:

Etapa 1: Resolução de questões sobre estereoisomeria, no qual os estudantes foram solicitados a representar em três dimensões as formas *cis/trans* dos seguintes compostos: a) 2-buteno e b) 1,2-dibromociclopropano; c) Ácido butenodióico. Além de representar os isômeros os estudantes receberam uma folha em branco com a seguinte instrução: *Imagine que você vai explicar a outro colega tudo o que sabe sobre Isomeria. Você pode utilizar texto, equações, fórmulas, desenhos, tabelas, da forma que desejar.* Após a conclusão do pré-teste os estudantes receberam um texto sobre a técnica utilizada Think Aloud e foram entrevistados individualmente em uma sala que ficava isolada do grupo. *Etapa 2 -* Construção de isômeros Após a manipulação das ferramentas do ChemSketch, os testes foram devolvidos aos alunos para que os mesmos isômeros fossem construídos em 3D no ChemSketch e comparados com suas construções prévias. *Etapa 3 –* Posteriormente, sem o uso do software, aplicamos um segundo teste no qual, os alunos representaram através de desenhos os seguintes pares de isômeros: a) 2-bromo-1-clorociclobutano; b) 1,2- dicloroeteno; c) 3-cloro-2-buteno. Da mesma forma que no pré-teste os estudantes receberam uma folha em branco com a instrução para escrever sobre isomeria. Após a conclusão do pós teste os estudantes foram entrevistados individualmente.

d) Metodologia de análise

Teoricamente, a metodologia proposta por Stephens e Clement (2010) é sustentada por alguns fatos da literatura de diversas áreas que, resumidamente dá ao entrevistador uma visão pelo menos parcial nas imagens mentais geradas pelos sujeitos: O tipo e a quantidade dos gestos parecem estar associados com a natureza da representação interna do sujeito (LOZANO; TVERSKY, 2005; IVERSON E GOLDIN-MEADOW, 1997, 1998). A Produção de gestos representacionais, em particular, parece estar associada com processos visuoespaciais e outros processos imagísticos (IVERSON; GOLDIN-MEADOW, 1997; KRAUSS, 1998; HOSTETTER; ALIBALI, 2004; ALIBALI, 2005; FEYEREISE; HAVARD, 1999). A evidência colecionada leva pesquisadores a sugerir que gestos representacionais não é meramente a tradução dos significados verbais dos sujeitos, mas pode revelar pensamento não-verbal. Uma hipótese alternativa é que gestos são uma tradução física de palavras, mas um número de estudos jogaram dúvida na plausibilidade desta hipótese (IVERSON; GOLDIN-MEADOW, 1997; ROTH, 2000). Gestos descritivos parecem ser uma forma natural de expressar os resultados de animações mentais e transmite informação sobre a animação não revelada no discurso do sujeito (McNeill, 1992; HEGARTY, MAYER, KRIZ, 2005) .Assim, utilizamos essa metodologia de análise para ter acesso ao que poderíamos chamar de “discurso não-verbal imagístico” dos estudantes durante a resolução de problemas de estereoisomeria.

Discussão dos resultados

Análise dos gestos representacionais

De acordo com a metodologia adotada o foco de nossa análise são os gestos representacionais, pois “a maioria das pesquisas recentes sobre gestos tem se concentrado em gestos representacionais uma categoria ampla que inclui qualquer gesto que transmite conteúdo semântico, como utilizando forma, a colocação, ou movimento das mãos” (CLEMENT, 2010, p.3). Na primeira etapa de análise dos vídeos nosso foco foi identificar e classificar os gestos considerados como representacionais, excluindo, portanto, todos os gestos identificados como utilizados apenas para dar ênfase rítmica ou gestos estilizados. Ao final da análise e identificação,

criamos a classificamos a seguinte classificação de acordo com o tipo de gesto realizado: gestos representativos de forma da molécula; posição dos átomos na molécula; posição de grupamentos atômicos na molécula; movimento de rotação 3D, rotação automática. Na análise dos vídeos do pré-teste, identificamos indicações de gestos para formas moleculares e para posições átomos dentro da molécula. Já no pós-teste, esses gestos aumentam em quantidade; existe uma comunicação melhor entre os gestos que indicam o uso de representações internas e também novos gestos são utilizados, indicando movimento da molécula (rotação 3D, rotação automática) e também a posição de grupamentos orgânicos, juntamente com uma melhor conceitualização do conceito de estereoisomeria. Escolhemos o caso de um estudante específico para discutir nesse artigo.

Identificando evidências de utilização de visualização e representações internas na resolução de problemas

Os gestos representacionais apresentados demonstram que durante a explicação da estudante, de como a tarefa de construir e diferenciar os pares de isômeros, além de utilizar como suporte as representações internas, são utilizadas as habilidades espaciais que permitem a rotação mental, percepção e visualização espacial. Ao referir-se à forma da molécula, gestos representativos de forma eram utilizados, na Figura 1 à esquerda, podemos verificar o gesto de formação de uma espécie de triângulo no momento que a estudante está explicando como construiu a molécula dos isômeros do 1,2-dibromociclopropano.

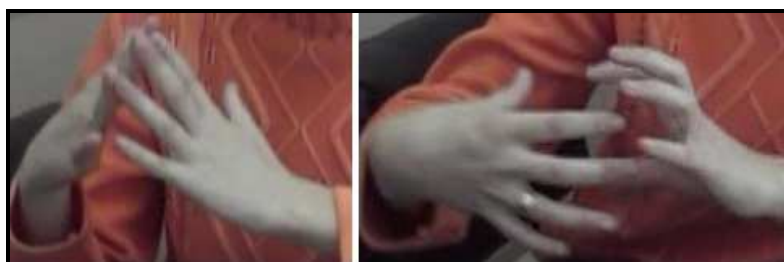


Figura 1 - Gestos representativos de forma da molécula

A estudante também utiliza gestos que indicam as diferentes posições dos átomos constituintes na molécula (Figura 2) como, por exemplo, a posição de um halogênio na molécula ou ainda dos hidrogênios ligados aos átomos de carbono. Essa seqüência de gestos indica o raciocínio espacial necessário para indicar as diferentes posições.

Já os gestos utilizados na Figura 3 para indicar a posição de um determinado radical orgânico, como, por exemplo, um grupamento metil ou carboxil, são diferentes dos gestos que indicam a posição de um átomo em específico na molécula.

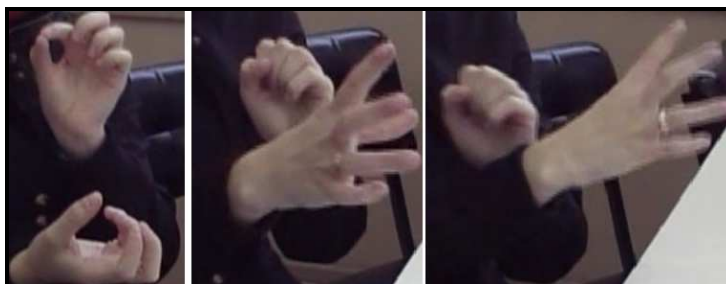


Figura 2 - Seqüência de gestos representativos de posição dos átomos na molécula.

Os gestos utilizados nas Figuras 1,2 e 3 sugerem a manipulação mental das representações internas utilizando a habilidade relativa à percepção espacial, uma vez que a estudante conseguiu fazer relacionamentos espaciais a partir de informações visuais as quais teve acesso por meio das representações externas utilizadas durante a tarefa executada no software



Figura 3 - Seqüência de gestos representativos de posição de grupamentos orgânicos na molécula.

. Todos esses gestos indicam também a formação de imagens mentais estáticas. Também podemos observar gestos que descrevem um evento animado, como por exemplo, na Figura 4 que apresenta uma seqüência de gestos indicar movimento de rotação tridimensional executado internamente para visualizar todos os átomos da molécula. As mãos estão posicionadas como se a estudante estivesse manipulando um objeto externo. Essa seqüência demonstra as etapas do raciocínio que é expressa pela série de gestos realizados, onde a estudante que além de utilizar sua capacidade de visualização interna utiliza a habilidade de rotação mental também na resolução do problema.



Figura 4 - Seqüência de gestos representativos de movimento de rotação 3D

A estudante foi capaz de visualizar e rotacionar mentalmente a molécula para que pudesse enxergar os átomos em posições diferentes. Conforme ela descreve como diferenciou os isômeros do 1,2- dicloroetano: “[...] os dois cloros estão no mesmo plano, lá atrás são dois hidrogênios e aqui então eu vou ter um hidrogênio e um cloro no mesmo plano e aqui um hidrogênio, é, e um cloro aqui tá atrás então por isso que ele tá mais escondidinho. Daí se virar a molécula vai aparecer [...]” Ao descrever que após rotacionar mentalmente consegue enxergar a diferença entre os isômeros a estudante está utilizando em seu raciocínio a habilidade de visualização espacial que consiste na manipulação de problemas visuais considerados complexos.



Figura 5 - Seqüência de gestos representativos de rotação automática

Diferentemente dos gestos que indicam uma operação de rotação mental (Figura 4), ao se referir à rotação da molécula realizada com o auxílio do mouse no software utilizado, houve uma mudança no padrão dos gestos (Figura 5) que passaram a indicar uma rotação efetuada por meio de uma representação externa na tela do computador. Com essa análise buscamos compreender como a estudante foi capaz de resolver as tarefas após ter tido acesso às representações externas que acreditamos ser mais poderosas no processo de formação de representações internas relativas à estereoisomeria, e mais do que isso, a manipulação dessas imagens mentais. Uma vez que, dependendo da situação-problema envolvida, a simples imagem mental estática, não é capaz de auxiliar a resolução.

Aplicações instrucionais e recomendações para pesquisa na área

No caso da estereoisomeria, as representações moleculares desempenham um papel importante para a compreensão da realidade molecular e as múltiplas representações externas possíveis para uma mesma molécula podem ter diferentes impactos no processo de internalização e ter vantagens particulares. Os modelos de bolas e varetas, por exemplo, são considerados os mais concretos e visualizáveis, enquanto os modelos de arames podem ser muito abstratos, mostrando apenas cadeias de carbono (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2000). Mesmo que professores estejam adeptos à seleção e uso de diferentes representações bidimensionais (como projeções) para descrever estruturas moleculares tridimensionais, os estudantes raramente têm sucesso na interpretação ou manipulação das várias representações disponíveis (KEIG; RUBBA, 1993; KOZMA; CHIN; RUSSEL; MARX, 2000).

Em sala de aula é possível fornecer aos estudantes a visualização de modelos tridimensionais por diferentes instrumentos. Um deles são as ferramentas computacionais, que hoje estão se tornando amplamente disponíveis, inclusive por meio de download gratuito. Para os que não têm acesso às ferramentas computacionais é possível o uso de modelos moleculares concretos, que podem ser construídos pelos próprios estudantes, como materiais muito simples, como palitos e bolas de isopor, por exemplo. Quando utilizamos modelos tridimensionais fornecemos ao estudante acesso a uma das possíveis representações da estrutura molecular e sua tarefa é concentra-se na ação de internalizar essa estrutura. Já quando são utilizadas apenas representações bidimensionais, há necessidade de realizar todo um processamento mental para a formação de uma imagem tridimensional que o estudante desconhece, pois ao visualizar representações no papel o estudante precisa construir mentalmente algo, processo considerado difícil pelos estudantes e que pode ser facilitado pelo suporte de representação externa mais potente (RAUPP, 2010). A diversidade na possibilidade de representação de uma mesma molécula pode ser útil na medida em que o professor pode optar entre elas, dependendo do foco de estudo, levando em conta qual das representações pode ser considerada como a mais apropriada e potente para a resolução dos problemas.

CONCLUSÃO

Sob a perspectiva de nossa abordagem teórica o uso de um sistema simbólico composto por representações externa geradas a partir de um instrumento (computador) que possibilitou a visualização de estruturas tridimensionais, promove o desenvolvimento cognitivo, ancorado nos princípios da Mediação Cognitiva de Vygotsky. A metodologia proposta por Stephens e Clement (2010) auxiliou a identificar dos gestos representacionais e observamos um aumento no uso de gestos estáticos e animados que podemos atribuir ao uso do software de que utiliza

representações externas estáticas e animadas. O aumento dos gestos estáticos sugere que além de formação de imagens internas a estudante utilizou a percepção espacial para descrever a forma da molécula bem como a posição de átomos e grupamentos. Já a utilização de gestos animados indica a utilização freqüente do que Clement chama de simulações mentais. Essas simulações mentais surgem após o uso destas representações externas animadas e indicam a internalização destas representações sob a forma de representações internas animadas. Além disso, os gestos animados indicam a capacidade de rotação mental e visualização espacial desenvolvida pelo estudante. Tais habilidades de visualização não foram evidenciadas no pré-teste, antes do contato com os modelos 3D.

Em particular, foram identificados gestos específicos, acima descritos, que indicam uma espécie de linguagem não-verbal das imagens geradas pela estudante. Em especial, existem eventos onde a estudante gera seqüências de gestos que indicam operações mentais específicas com o objetivo de resolver uma determinada situação-problema. Em um evento específico, a estudante menciona que um determinado átomo está na parte oculta, atrás da molécula ao seu campo de visão interna, utiliza as mãos para indicar o átomo, em seguida menciona verbalmente que “depois o átomo é visto”, mas sua mão reproduz o gesto de movimento de rotação 3D, e depois o gesto de segurar o átomo que antes não era visto. Isto indica a internalização e uso livre, para resolver problemas, tanto das representações como dos invariantes operatórios associados às operações mentais visuoespaciais complexas. Sua capacidade de operar mentalmente com estas moléculas é substancialmente melhorada em função do uso de representações externas consideradas mais potentes para o caso da estereoisomeria, e segundo Vergnaud a representação mais potente auxilia a resolução de tarefas que antes não eram resolvidas.

Concordamos com Clement (2010, 2008) e acreditamos que os gestos fornecem pelo menos uma janela parcial para imagens mentais dos estudantes. Essa janela pode nos auxiliar na tarefa de encontrar as representações mais potentes aliadas à instrumentos adequados, tornando assim, o desafio do aprendizado de conteúdos que envolvam raciocínio tridimensional menos difícil.

Referências bibliográficas

ALIBALI, M. W **Gesture in spatial cognition: Expressing, communicating, and thinking about spatial information**, *Spatial Cognition & Computation*, v.5, p.307-331, 2005.

BAKER, R. W.; GEORGE, A.V. E HARDING, M. M., **Models and Molecules – A Workshop on Stereoisomers**. *J. Chem. Educ.*, v. 75 n.7, p. 853-855, 1998.

CHOI, J. **Sex differences in spatial abilities in humans: two levels of explanation**. In: VOKEY, J. R.; ALLEN, S. W. *Psychological Sketches*. Lethbridge: Department of Psychology and Neuroscience, 5.ed., 2001.

CLEMENT, J. **Thought experiments and imagery in expert protocols**. In L. Magnani, ed., *Model-based reasoning in science and engineering*, London: King's College, p.1-16, 2006.

CLEMENT, J. **Creative Model Construction in Scientists and Students: The Role of Imagery, Analogy, and Mental Simulation**. Dordrecht: Springer, 2008.

COSTA, S.S.C. e MOREIRA, M.A. **A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa**. *Cad.Cat.Ens.Fís.*, v. 18, n. 3: p. 278-297, 2001.

COTTON, D. GRETTY, K. **Reflecting on the think aloud method for evaluating e-learning**. *British Journal of Educational Technology* v. 37 n.1 p. 45-54, 2006.

COX, R. **Representation construction, externalized cognition and individual differences.** Learning and Instruction, v.9, p.343-363, 1999.

FEYEREISEN, P.; HAVARD, I. **Mental imagery and production of hand gestures while speaking in younger and older adults,** J.Nonverbal Behav. v.23, n.2 153-171, 1999.

FINKE, R. **Principles of Mental Imagery** ,MIT Press, Cambridge, MA, 1989,190p.

FREDERIKSEN, J. R.; WHITE, B. Y.; GUTWILL J. **Dynamic mental models in learning science: The importance of constructing derivational linkages among models,** J. Res. Sci. Teach.v.36,n.7, p.806-836, 1999.

GILBERT, J. (2005). **Visualization in science education.** New York, NY: Springer-Verlag Berlin Heidelberg

GOODING, D. **Creative rationality: Towards an abductive model of scientific change,** Philosophica v.58, n.2, p.73-102, 1996.

HABRAKEN, C. Perceptions of chemistry: **Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences so distorted?** Amsterdam, Journal of Science Education and Technology, v.5, n.3, p. 193–201, 1996.

HEGARTY, S. MAYER, S. KRIZ, and M. KEEHNER, **The role of gestures in mental animation,** Spat. Cogn. Comput. v.5,n.4, 333-356,2005.

HOSTETTER, A.; ALIBALI. M. **Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society,** Chicago, Il,2004 p. 589.

IVERSON, J. M.; GOLDIN-MEADOW, S. **What's communication got to do with it?** Gesture in children blind from birth, Dev. Psychol. v.33, n.3, p.453-467,1997.

IVERSON, J. M.; GOLDIN-MEADOW, S. **Why people gesture when they speak,** Nature, London,v.396, 228,1998.

KEIG, P. F.; RUBBA, P. A. **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, v. 30, p.883-903. 1993.

KOZHEVNIKOV, M.; HEGARTY M. MAYER, R. Annual Meeting of the American Educational Research Association, Montreal, não publicado , s.d.

KOZMA, R.; CHIN, E.; RUSSELL, J.; MARX, N. **The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning.** Londres, Journal of the Learning Sciences, v. 9, n.2, p. 105-143, 2000.

KRAUSS, R. M. **Why do we gesture when we speak?** Curr. Dir.Psychol. Sci. v.7,n.2 p.54-60 1998.

KURBANOGLU, N. I.; TASKESENLIGIL, Y.; SOZBILIR, M. **Programmed instruction revisited: a study on teaching stereochemistry,** Ionina, Chemistry Education Research and Practice, v.7, n.1, p.13-21, 2006.

LEFRANCOIS, Guy. 1988. **Psychology for teaching: A bear always, usually, sometimes, rarely, never, always faces the front.** 6 ed. Belmont, CA: Wadsworth, 411 p.

LOZANO,S; TVERSKY,B. **Proceedings of the Twenty-Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society**, edited B. Bara and M. Bucciarelli, Stresa, Italy, _Erlbaum, Mahwah,NJ, 2005.

MCNEILL, D. **Hand and Mind: What Gestures Reveal About Thought** _University of Chicago Press, Chicago, IL, 1992.

MOREIRA, M.A.;LAGRECA, M.C.B. "**Representações mentais dos alunos em Mecânica Clássica: três casos**. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.3,n. 2, p. 83-106, 1998.

RAUPP, D.T, **Um estudo de caso sobre a compreensão de conceitos químicos mediante visualização de representações computacionais 3D utilizando o referencial de Campos Conceituais**. Dissertação. Canoas.

ROQUE, N. D.; SILVA, J. L. **A Linguagem Química e o Ensino da Química Orgânica**. São Paulo, Química Nova, v.31, n. 4, p. 921-923, 2008.

ROTH, W.M. **From gesture to scientific language**, Journal of Pragmatics. v.32, 1683-1714, 2000.

SEABRA,R.; SANTOS,E. **Proposta de desenvolvimento da habilidade de visualização espacial através de sistemas estereoscópicos**. 4º Congresso Nacional y Iro. Internacional Rosario, Argentina, 2004.

STEPHENS, A. LYNN ;CLEMENT, JOHN J. "**Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students**", Physical Review Special Topics – Physics Education Research,v.6, n.2,p.1-15, 2010.

VERGNAUD, G. **A classification of cognitive tasks and operations of thoughtinvolved in addition and subtraction problems**. In T. P. Carpenter, J. M. Moser,& T. A. Romberg (Orgs.), Addition and subtraction: a cognitive perspective(p. 141-161). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1982.

VERGNAUD, G. **Teoria dos campos conceituais**. In Nasser, L. (Ed.) Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro. p. 1-26, 1993.

VERGNAUD, G. **A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos**. Revista do GEMPA, Porto Alegre, n. 4, p. 9-19, 1996.

VERGNAUD, G. y M. RÉCOPÉ, "**De Revault d'allonnes à une théorie du schème aujourd'hui**", Psychologie Française, v.l. 45, n. 1, 2000.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1998. 191 p.

WU, H-K., KRAJCIK, J. S., SOLOWAY, E. **Promoting understanding of chemical representations: student's use of a visualization tool in the classroom**. Journal of Research in Science Teaching, v. 38, n. 7, p. 821-842, 2001.