

## Estudo dos modelos mentais cinemáticos/dinâmicos sobre sistema heterogêneo por meio da produção de animações pelos estudantes.

\*Gustavo Bizarria Gibin<sup>1</sup> (PG), Luiz Henrique Ferreira<sup>1</sup> (PQ).

\* E-mail: [gustavoqibin@yahoo.com.br](mailto:gustavoqibin@yahoo.com.br)

<sup>1</sup> Departamento de Química da UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.

*Palavras-Chave: modelos mentais, sistema heterogêneo, animação.*

**RESUMO:** NESTE TRABALHO FORAM ESTUDADOS OS MODELOS MENTAIS DE ALUNOS DA PRIMEIRA SÉRIE DO ENSINO MÉDIO SOBRE O CONCEITO DE MISTURA HETEROGÊNEA. O REFERENCIAL TEÓRICO UTILIZADO FOI A TEORIA DE MODELOS MENTAIS ELABORADA POR JOHNSON-LAIRD. A COLETA DE DADOS FOI REALIZADA POR MEIO DA ELABORAÇÃO EM GRUPOS DE UMA ANIMAÇÃO PARA REPRESENTAR O FENÔMENO EM NÍVEL SUBMICROSCÓPICO. TODOS OS MODELOS OBSERVADOS REPRESENTAM A FORMAÇÃO DO SISTEMA HETEROGÊNEO COM DUAS FASES DISTINTAS, ENTRETANTO, EXISTEM MODELOS MAIS SIMPLES E MODELOS MAIS ELABORADOS, COM MAIS ELEMENTOS, MAIS COMPLEXOS. A METODOLOGIA PROPORCIONOU A OBSERVAÇÃO DE MODELOS CINEMÁTICOS/DINÂMICOS, E DESSA FORMA, SE MOSTROU INTERESSANTE PARA A INVESTIGAÇÃO DE MODELOS MENTAIS DESTA CATEGORIA PARA FENÔMENOS QUÍMICOS.

### INTRODUÇÃO

O conceito de representação é fundamental para a psicologia cognitiva e para a investigação em ensino de Ciências. Uma representação consiste em qualquer notação ou conjunto de símbolos que representa algo que é tipicamente algum aspecto do mundo exterior ou interior (ou seja, de nossa imaginação) em sua ausência. As representações internas ou mentais são maneiras de reconstruir o mundo externo em nossas mentes, já as representações externas ou modelos expressos são formas de externalizar as nossas concepções, nossos modelos internos ou representações internas (MOREIRA, GRECA e PALMERO, 2002). A teoria de Johnson-Laird (1983) propõe que existem três tipos de representação interna: proposições, imagens e modelos mentais. Segundo o autor: *“proposições são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são visualizações de modelos sob um determinado ponto de vista”*.

A linguagem mental descreve uma proposição em termos de modelos mentais, ou seja, *“proposições são interpretadas com respeito aos modelos mentais”* (JOHNSON-LAIRD 1983). As proposições são muito próximas à linguagem verbal e podem ser consideradas como formas de “entrada”, e que propiciam a construção de um modelo mental. Os modelos mentais, assim como as imagens, são altamente específicos e isto os diferencia das proposições. Por fim, as imagens são formas de visualização dos modelos mentais.

Existem várias definições sobre modelos mentais e empregaremos a proposta por Johnson-Laird (1983) neste trabalho como referencial teórico, pois sua teoria foi um marco para a psicologia cognitiva e consideramos como a teoria mais abrangente sobre o assunto. Johnson-Laird (1983) define que os modelos mentais são formas de representações internas de informações ou conceitos que correspondem a determinados eventos ou processos. Borges (1997) aponta que os *“modelos mentais são usados para caracterizar as formas pelas quais as pessoas compreendem os*

*sistemas físicos com os quais interagem*". Portanto, pode-se considerar que na compreensão de conceitos ou fenômenos químicos, os modelos mentais são os modelos imaginados pelas pessoas na tentativa de compreender os conceitos ou fenômenos químicos.

Para Johnson-Laird (1983) cada modelo possui um ou mais elementos. Os elementos de um modelo podem ser caracterizados como objetos presentes em um sistema, conceitos abordados em um processo, relações espaciais, pode ser qualquer tipo de objeto presente ou de relação existente entre objetos.

De acordo com Norman (1983), os modelos mentais apresentam as seguintes características gerais: são incompletos; as pessoas "executam" seus modelos de forma muito limitada; são instáveis, ou seja, elementos são facilmente esquecidos; não tem fronteiras bem definidas; são não-científicos, ou seja, refletem as crenças da pessoa e são econômicos, ou seja, são muito simplificados, pois as pessoas tendem a elaborar modelos com poucos elementos. Portanto, em pesquisas sobre modelos mentais, não se deve esperar que estudantes apresentem modelos mentais elegantes e precisos, pois geralmente são evidenciados modelos confusos e incompletos.

Johnson-Laird (1983) diferencia os modelos mentais em dois grandes tipos: os modelos mentais físicos e os modelos mentais conceituais. Modelos físicos representam o mundo físico enquanto modelos conceituais representam conceitos abstratos, como silogismos, por exemplo. Dentre os modelos físicos, o autor propõe que existem seis grandes tipos:

**Modelo relacional:** É um 'quadro' estático que consiste de um conjunto de elementos que representa um conjunto de entidades físicas, um conjunto de propriedades dos elementos representando as propriedades físicas das entidades, e um conjunto de relações entre os elementos representando relações físicas entre as entidades.

**Modelo espacial:** consiste em um modelo relacional no qual a única relação entre os elementos é de natureza espacial. Assim, o modelo representa estas relações pela localização dos elementos em um espaço dimensional, que apresenta tipicamente de duas ou três dimensões

**Modelo temporal:** consiste em uma sequência de 'quadros' espaciais que ocorre em uma ordem temporal correspondente a ordem temporal dos eventos (não necessariamente no tempo real). Assim, um modelo temporal apresenta uma ordem temporal de eventos, mas não é necessariamente linear, e a temporalidade também não é contínua.

**Modelo cinemático:** consiste em um modelo temporal que é psicologicamente contínuo. O modelo representa as mudanças e movimentos dos elementos sem descontinuidades temporais. Este modelo pode ser considerado como um "filme" que é exibido na mente das pessoas. O modelo é temporalmente contínuo, os elementos apresentam movimentos fluídos e contínuos.

**Modelo dinâmico:** é um modelo cinemático em que existem relações entre certos quadros, que representam relações causais entre os eventos representados.

**Imagem:** consiste de uma representação centrada no observador de características visíveis de um modelo espacial tridimensional ou de um modelo cinemático/dinâmico. Portanto, a imagem corresponde a uma visualização de um modelo.

Dessa forma, estes diferentes tipos de modelos mentais físicos, que representam o mundo físico podem ser elaborados por estudantes no processo de aprendizagem sobre um fenômeno ou conceito químico.

## MODELOS MENTAIS SOBRE CONCEITOS QUÍMICOS

A compreensão da Química envolve três níveis representacionais: macroscópico, submicroscópico e simbólico (JOHNSTONE, 1993, 2000). No nível macroscópico os fenômenos são concretos, observáveis e podem ser manipulados pelos alunos, como em uma experiência. No nível submicroscópico a Química é explicada por meio das interações e reações entre moléculas, átomos ou outras espécies subatômicas, como em uma imagem ou uma animação. O nível simbólico da Química refere-se à linguagem própria dos símbolos da Química, como fórmulas e equações (WU, KRAJCIK e SOLOWAY, 2001). Portanto, para compreender a Química, é necessário conhecer e transitar adequadamente entre estes níveis.

Os estudantes em geral possuem dificuldades de compreensão nos níveis de representação da Química. Apresentam dificuldades em relação às representações submicroscópica e simbólica porque são abstratas e seu raciocínio construído com base nos sentidos (BEN-ZVI, EYLON e SILBERSTEIN, 1987). Além disso, os estudantes não transitam de forma adequada entre o nível macroscópico e o submicroscópico (GILLESPIE, 1997). Assim, é interessante estudar as formas de representação dos alunos e entender como constroem seus modelos sobre conceitos químicos.

Na Química, os modelos mentais são desenvolvidos principalmente pelo estabelecimento da relação entre o nível macroscópico e submicroscópico. O nível simbólico contribui muito pouco para a construção de um modelo mental sobre um conceito químico. Assim, ao tentar desenvolver nos estudantes os modelos mentais sobre conceitos químicos, é interessante iniciar as atividades didáticas por meio da observação ou manipulação de algo concreto, como a realização de um experimento, por exemplo. Na sequência, é importante utilizar imagens, vídeos ou modelos moleculares para estimular os alunos a raciocinar em nível submicroscópico e elaborar um modelo mental mais adequado do sistema (GIBIN, 2009). As relações entre os diferentes níveis de representação do conhecimento químico e a elaboração de um modelo mental sobre um conceito ou fenômeno químico podem ser observadas na Figura 1. Também é importante que se use o nível simbólico no ensino de Química, pois é a linguagem empregada na Química, entretanto, este nível não deve ser o único a ser trabalhado, como ocorre atualmente nas escolas.

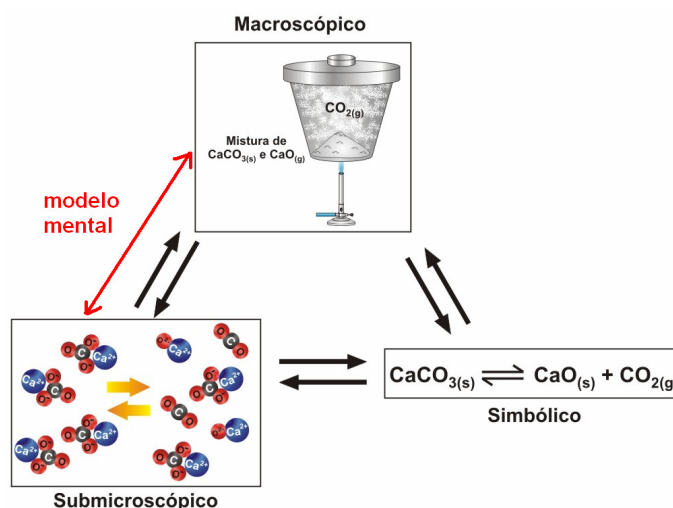


Figura 1: Exemplos dos níveis de representação do conhecimento químico e suas relações.

## QUESTÃO DE PESQUISA

Quais são os modelos mentais (cinemáticos/dinâmicos sobre o nível submicroscópico) espontâneos que estudantes de Ensino Médio apresentam sobre a formação de um sistema heterogêneo?

## OBJETIVOS

Analisar os modelos mentais cinemáticos ou dinâmicos espontâneos representados em nível submicroscópico de estudantes do Ensino Médio sobre a formação de um sistema heterogêneo por meio da produção de uma animação pelos mesmos.

## METODOLOGIA

Foi realizado um minicurso, com duração de 40 horas, para alunos de primeiras séries do Ensino Médio de três escolas públicas da cidade de São Carlos - SP sobre soluções em que um dos conceitos abordados foi o de sistema heterogêneo. Cabe salientar que os estudantes não estudaram em sala de aula este conceito antes da realização da pesquisa, pois o objetivo principal foi estudar os modelos mentais espontâneos dos estudantes e não os que possam ter sido elaborados durante as aulas. O minicurso foi realizado nas dependências do Departamento de Química da UFSCar, no Laboratório de Ensino e Aprendizagem de Química (LENAQ). Durante o curso foram utilizados como recursos didáticos imagens estáticas e animações de representações em nível submicroscópico, modelos moleculares e foram também realizados experimentos sem a correspondente explicação dos fenômenos. E, por fim, foi requisitado que os estudantes expressassem seus modelos mentais sobre os fenômenos abordados nos experimentos.

De acordo com Moreira (1996), para realizar um estudo sobre os modelos mentais dos alunos, é preciso agir de forma indireta, ou seja, investigar os modelos mentais por meio do que é expresso pelos alunos, seja verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente. Portanto, o uso de depoimentos dos estudantes, de testes escritos dissertativos com ou sem imagens pode ser proposto como coleta de dados em uma investigação sobre modelos mentais. Entretanto, é possível surgir dificuldades metodológicas ao se utilizar testes com lápis e papel para levantar os modelos mentais dos estudantes. Assim, o uso de animações pode minimizar este problema (ANDERSON *et al.*, 1992). Portanto, a elaboração de animações pelos próprios alunos foi utilizada como recurso para coleta de dados neste estudo. O uso de animações como ferramenta metodológica para a investigação dos modelos mentais é interessante, pois estas são similares aos modelos mentais cinemáticos/dinâmicos que são “rodados” na mente dos alunos. Portanto, a elaboração de animações em nível submicroscópico pelos alunos é adequada como ferramenta metodológica para investigar os modelos mentais sobre processos químicos dinâmicos.

Antes de iniciar a coleta de dados, os estudantes elaboraram uma animação com um jogo de dominó por meio da técnica de stop-motion com a finalidade de aprender a realizar a técnica antes do início da coleta de dados. Nesta etapa pré-coleta de dados, a animação produzida, um jogo de dominó é montado “sozinho”, pois são produzidas várias fotografias de uma peça de dominó que realiza uma sequência de

movimentos descontínuos. A peça é movida e fotografada e vai ocupando uma posição em cima da mesa. Outras peças são movimentadas pela mesa e fotografadas, de modo que se obtém a ilusão de que um jogo de dominó está sendo realizado entre dois jogadores invisíveis ou fantasmas. O princípio utilizado é o mesmo que permite a produção de desenhos animados.

Werneck (2005) apresenta uma definição para a técnica de animação em stop-motion, como “o movimento criado a partir de imagens paradas”. Ainda segundo o autor, esta técnica de animação é obtida por meio da realização de fotografias de objetos quadro-a-quadro e quando exibidos em uma certa velocidade, proporcionam a ilusão do movimento. Além disso, Werneck (2005) ainda propõe que esta técnica de animação se utilizada com objetos inanimados e sem articulações é muito indicada para crianças que ainda não tiveram contato com as técnicas de animação em virtude da facilidade de domínio dessa técnica.

A coleta de dados foi organizada por meio de atividades em grupo. Inicialmente os alunos fizeram um experimento simples, em que 50 mL de gasolina comercial foram adicionados a um béquer contendo 200 mL de água. Em seguida, os grupos elaboraram animações utilizando a técnica de stop-motion para representar em nível submicroscópico o sistema estudado, a partir do modelo eleito pelos membros do grupo. A metodologia foi proposta de acordo com Gibin (2009), pois é importante partir de uma atividade que envolve o nível macroscópico para a elaboração dos modelos em nível submicroscópico. Foram fornecidas aos estudantes figuras impressas que representam as espécies químicas envolvidas, no caso as molécula de água e de n-heptano, representando a gasolina.

Após esta etapa, foram exibidas todas as animações para a turma, bem como a animação produzida pelo pesquisador. A animação produzida pelos pesquisadores teve a finalidade de apresentar o modelo aceito para o fenômeno químico. Após a exibição das animações, todos os elementos presentes nos modelos expressos foram amplamente discutidos e os estudantes puderam apresentar suas dúvidas e observações.

A análise dos modelos mentais foi realizada considerando os elementos presentes em cada modelo e o conseqüente grau de complexidade apresentado, segundo a teoria de Johnson-Laird (1983). Os elementos analisados nos modelos expressos pelos alunos são: a formação do sistema heterogêneo, a movimentação das espécies químicas, orientação espacial das representações das moléculas e existência ou não de representações de colisões das partículas.

## PRODUÇÃO DAS ANIMAÇÕES

As animações foram elaboradas por meio dos programas de ilustração Corel Draw 10<sup>®</sup> e de animação Macromedia Flash 5<sup>®</sup>. As animações produzidas por meio da técnica stop-motion, utilizadas para a coleta de dados, foram realizadas por meio da seguinte metodologia: inicialmente os estudantes desenhavam em papel as posições iniciais que as espécies químicas iriam ocupar na tela e as suas trajetórias até o ponto final. Em seguida, copiaram este esquema para uma transparência e a projetaram em um quadro de chapa de aço fixado na parede de uma sala. Na seqüência, os estudantes fixaram as figuras representativas das espécies químicas neste quadro, em suas posições iniciais indicadas pela projeção, como pode ser visto na Figura 2. As figuras utilizadas possuíam um ímã de geladeira em seu verso, que possibilitam a sua fixação e movimentação. Os estudantes utilizaram uma máquina fotográfica digital para

obter as fotografias correspondentes a cada posição. Finalmente, fizeram pequenos movimentos das figuras de acordo com a projeção da trajetória e tiravam as fotografias. Depois de concluída a etapa de produção das fotografias, o pesquisador utilizou o software Macromedia Flash 5<sup>©</sup> para dispor as fotos em sequência e gerar o arquivo de vídeo.



**Figura 2: Placa de aço com as figuras que representam as espécies químicas fixadas.**

Uma animação tradicional sobre o mesmo fenômeno foi produzida pelos pesquisadores de modo semelhante. Cada quadro da animação foi produzido individualmente por meio do software Corel Draw 10<sup>©</sup>. Foi utilizada a mesma técnica que os estudantes adotaram para a definição da trajetória das representações das espécies. Assim, com pequenos movimentos das figuras, todos os outros quadros foram gerados. Quando todos os quadros estavam prontos, o software Macromedia Flash 5<sup>©</sup> foi empregado para dispor as figuras em sequência e gerar a animação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

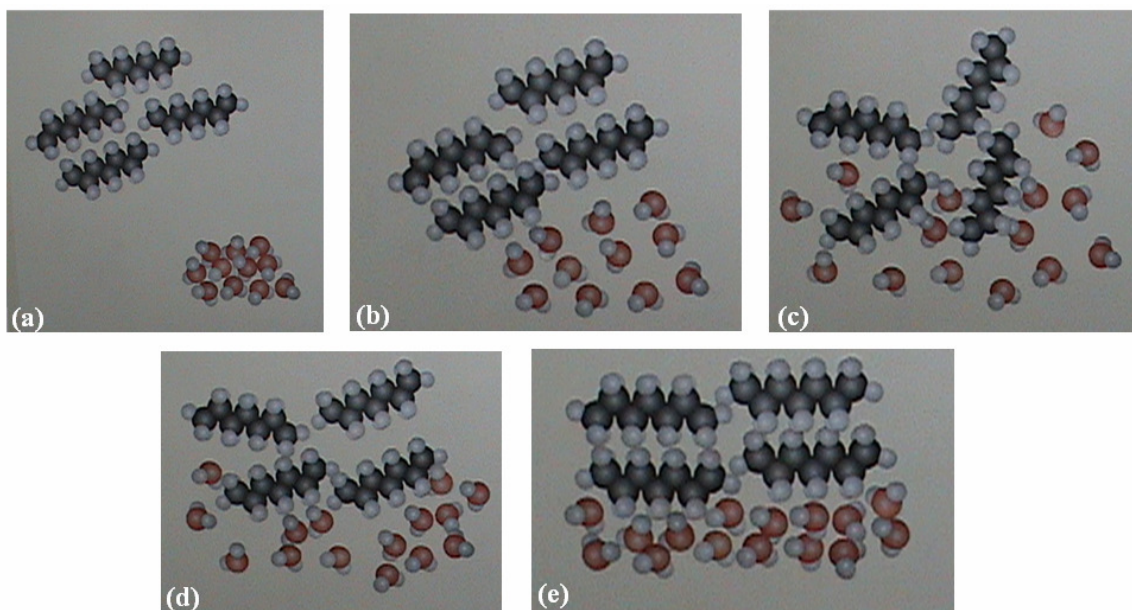
As animações produzidas pelos estudantes permitiram que seus modelos cinemáticos/dinâmicos sobre a formação de um sistema heterogêneo representado em nível submicroscópico fossem expressos e analisados. Os grupos apresentavam de três a cinco estudantes e foram montados sem a interferência dos pesquisadores. É possível observar no Quadro 1 os modelos mentais expressos nas animações produzidas pelos grupos.

Em geral, os modelos apresentados pelos estudantes nas animações possuem muitas similaridades. Em todos os modelos são observadas duas fases distintas nas representações submicroscópicas, com a fase superior ocupada pela gasolina e a fase inferior ocupada pela água, que corresponde ao que foi observado pelos grupos na realização do experimento (nível macroscópico). Além disso, todas as animações apresentaram movimentos das espécies químicas. Por outro lado, houve alguns elementos presentes nos modelos de apenas alguns grupos, como a preocupação com a orientação espacial das moléculas representadas e com as colisões das representações das moléculas de água.

**Quadro 1: Elementos presentes nos modelos expressos nas animações.**

| Grupo | Sistema   | Orientação espacial | Movimento      |
|-------|---|---------------------|----------------|
| 1 e 2 | Mistura inicial;<br>Duas fases (fase superior: gasolina e fase inferior: água).     | Não                 | Todo o sistema |
| 3 e 5 | Fase superior: gasolina e fase inferior: água.                                      | Sim                 | Todo o sistema |
| 4     | Fase superior: gasolina e fase inferior: água.<br>Colisões entre moléculas de água. | Sim                 | Todo o sistema |

Em relação aos grupos 1 e 2, que produziram animações muito semelhantes, inicialmente foi apresentada uma mistura entre a água e a gasolina, provavelmente com a intenção de simular o experimento realizado, em que após a adição de água e gasolina ao recipiente, este era agitado intensamente e depois deixado em repouso. Assim, em repouso, era formado o sistema heterogêneo com duas fases, como pode-se observar na sequência de imagens apresentada na Figura 3. Além disso, neste modelo todas as moléculas representadas possuem movimento e por fim, aparentemente não há preocupação com a orientação espacial, pois as espécies químicas interagem de forma aleatória. Portanto, estes grupos apresentaram modelos simples, com poucos elementos em sua composição, como propõe Norman (1983).



**Figura 3: Sequência de imagens da animação elaborada pelo grupo 1.**

Os grupos 3 e 5 apresentaram animações muito semelhantes. Inicialmente, o sistema contém moléculas de água e na sequência é adicionada a gasolina, como pode-se observar na Figura 4. Em seguida, as moléculas que representam a gasolina se aproximam da água e assim, são formadas as duas fases do sistema heterogêneo. Neste modelo expresso, é possível notar que existe movimento no sistema, mesmo

que um leve movimento realizado pelas moléculas que representam a água. Estes dois grupos também introduzem um elemento inédito em seus modelos, eles mostram alguma preocupação com a orientação espacial das moléculas representadas, pois as moléculas de água estão com os seus átomos de oxigênio apontados para baixo e os átomos de hidrogênio apontam para cima e além disso, as moléculas de gasolina estão em posição horizontal. Portanto, o modelo apresentado pelos grupos 3 e 5 é um pouco mais elaborado do que o expresso pelos grupos 1 e 2.

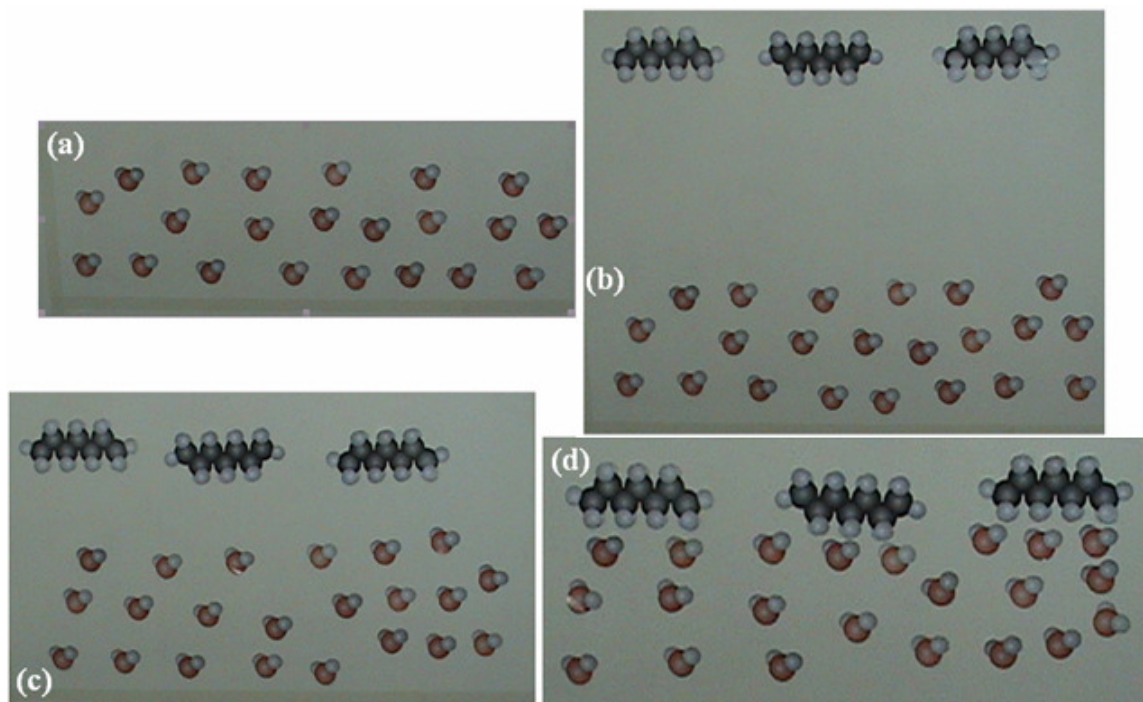


Figura 4: Sequência de imagens da animação elaborada pelo grupo 3.

O grupo 4 elaborou uma animação que expressa um modelo mais complexo do que os outros grupos. Inicialmente, o grupo apresenta apenas moléculas de água, como pode ser observado na Figura 5(a). Em seguida, na Figura 5(b), apresenta movimentos destas moléculas de água e introduz um elemento inédito em seu modelo: colisões entre moléculas que representam a água. Na sequência, adiciona ao sistema as moléculas que representam a gasolina, na Figura 5(c) e por fim, apresenta o sistema final, com as duas fases distintas na Figura 5(d). Além disso, houve uma preocupação com a orientação espacial das moléculas, pois os oxigênios constituintes da água estão apontados para baixo e os hidrogênios apontam para cima e as moléculas de gasolina estão em uma posição horizontal, como o modelo apresentado pelos grupos 3 e 5.



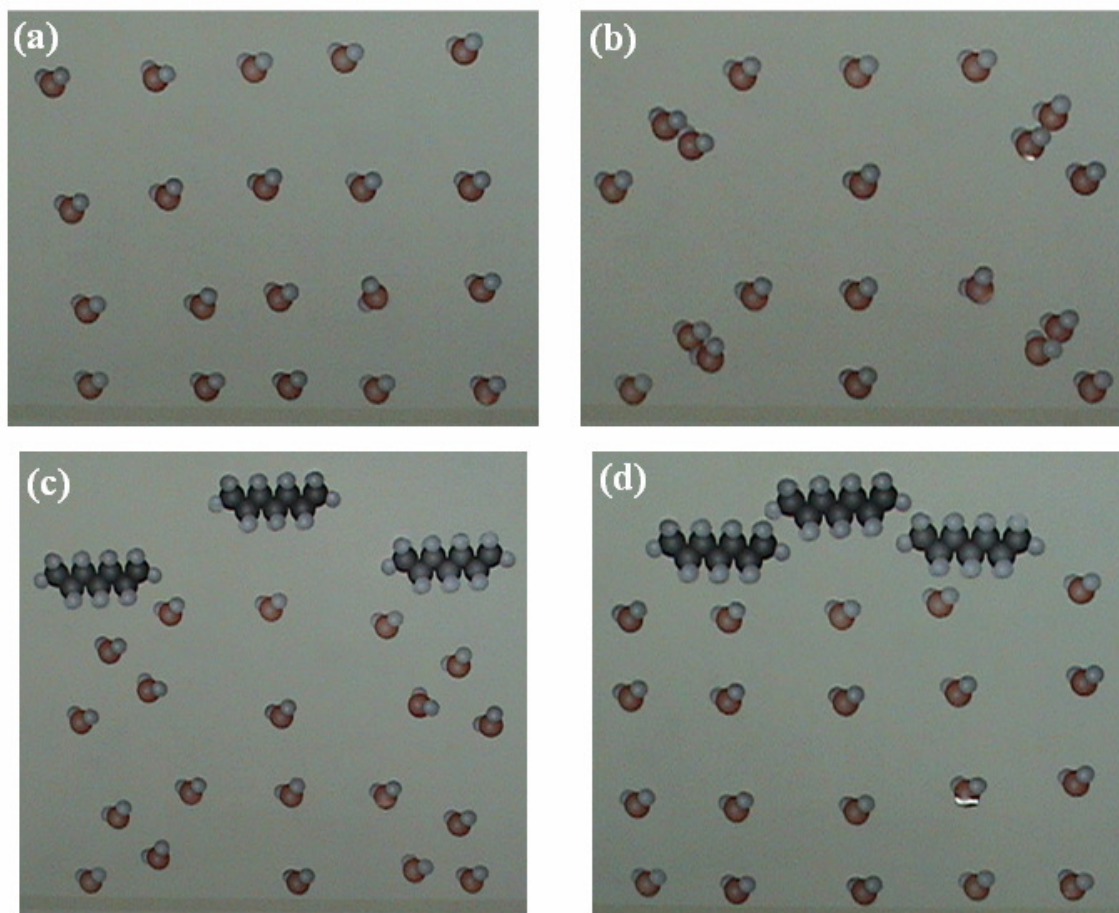


Figura 5: Sequência de imagens da animação elaborada pelo grupo 4.

Os três tipos de modelos apresentados pelos grupos foram muito semelhantes, com a formação do sistema heterogêneo e suas duas fases distintas, entretanto, o grau de complexidade dos modelos expressos foi diferente. Dois grupos expressaram um modelo em que é apresentada apenas a formação do sistema heterogêneo, um modelo simples, pois as pessoas apresentam a tendência de elaborar modelos mentais simples, como propõe Norman (1983). Outros dois grupos evidenciaram seus modelos com a formação das duas fases do sistema heterogêneo e inseriram também o elemento orientação espacial. Um grupo apresentou um modelo mais complexo, com os seguintes elementos: a formação do sistema heterogêneo, orientação espacial das espécies químicas e colisões entre as moléculas representadas. Portanto, o que diferenciou os modelos apresentados pelos estudantes basicamente foi o grau de complexidade, ou seja, a quantidade de elementos presentes em seus modelos, como Johnson-Laird (1983) propõe que pode ocorrer.

## CONCLUSÕES

Em relação aos modelos mentais expressos pelos estudantes sobre a formação de um sistema heterogêneo, de modo geral todos foram muito semelhantes. Todos os modelos expressos nas animações apresentam a formação do sistema heterogêneo formado por duas fases distintas, com a água na fase inferior e a gasolina

como líquido sobrenadante. Isto demonstra que os estudantes estabeleceram uma relação entre o nível macroscópico, o experimento realizado, e o nível submicroscópico, a animação produzida. Os modelos eram diferentes em relação à quantidade de elementos presentes. O modelo mais simples apresentava a formação do sistema heterogêneo e havia movimentação de todas as espécies químicas. Um modelo mais elaborado possui estes elementos e considera também uma preocupação com a orientação espacial. Por fim, o modelo mais complexo expresso apresenta todos estes elementos e evidencia também colisões entre as representações das moléculas de água. É importante investigar os modelos mentais dos estudantes, pois em uma sala de aula pode haver modelos semelhantes, entretanto, com uma elevada diversidade de graus de complexidade e quantidade de elementos presentes em cada modelo elaborado pelos alunos, como foi observado nesta pesquisa, e conforme aponta Johnson-Laird (1983).

A metodologia proposta para o estudo de modelos mentais de estudantes por meio da elaboração de animações ainda é recente, entretanto, observou-se que esta metodologia pode trazer bons resultados na investigação de modelos mentais cinemáticos/dinâmicos, uma vez que estes tipos de modelos são particularmente importantes no ensino de Química, que é focado de modo geral em transformações químicas, e portanto, apresentam um aspecto dinâmico. Além disso, os modelos mentais cinemáticos/dinâmicos são difíceis de serem expressos pelos alunos e entendidos pelos professores, assim, esta metodologia auxilia na visualização e na compreensão destes modelos.

A metodologia apresenta as vantagens de ser relativamente barata, pois os recursos mais caros empregados foram uma máquina fotográfica digital e um computador. Outra vantagem é que os estudantes aprenderam rapidamente a técnica de produção das animações, assim a atenção deles ficou focada principalmente na elaboração da animação, com a representação do processo/fenômeno químico.

Outra vantagem dessa metodologia é a possibilidade dos estudantes manipularem as espécies químicas em nível submicroscópico de forma dinâmica e, assim é possível estabelecer a relação entre as representações em nível macroscópico e em nível submicroscópico, por exemplo, relacionar o experimento com a elaboração da animação. Dessa forma, com o estabelecimento das relações entre os níveis macroscópico e submicroscópico, ocorre uma melhor compreensão sobre o conceito/fenômeno químico pelo aluno (JOHNSTONE, 1993, 2000) e dessa forma é elaborado um modelo mental mais adequado sobre o conceito químico em estudo.

Uma desvantagem da metodologia proposta é a velocidade de produção das animações, que pode ser considerada relativamente lenta, pois cerca de vinte alunos produziram as fotografias que compõem as animações em um período de quatro horas. Entretanto, é possível pedir para os estudantes elaborarem as animações em horários alternativos aos da aula, minimizando esta desvantagem.

Uma limitação imposta pelo uso da animação como ferramenta metodológica é a impossibilidade de realizar rotações e vibrações entre os átomos das moléculas. Entretanto, no currículo do Ensino Médio, as vibrações internas das moléculas não são abordadas, e assim, essa limitação é minimizada. Outra limitação da técnica envolve a forma de representação em papel das espécies químicas é a falta de profundidade ou da terceira dimensão, entretanto, isto pode ser contornado elaborando-se imagens em que os tamanhos das espécies sejam maiores ou menores, com isso pode-se simular um movimento em profundidade, em que a espécie representada estaria se afastando ou se aproximando do plano da tela.

## AGRADECIMENTOS

A todos os alunos e alunas participantes da pesquisa e aos professores, coordenadores e diretores das escolas envolvidas no projeto.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, T, *et al.* Mental models of motion. In: ROGERS, Y.; RUTHERFORD, A.; BIBBY, P. A. (Eds.). **Models in the mind: theory, perspective and application.** San Diego, California: Academic Press Limited. 1992. p. 20-32.
- BEN-ZVI, R.; EYLON, B.; SILBERSTEIN, J. Student's visualization of a chemical reaction. **Education in Chemistry**, v. 17, p. 117-120, 1987.
- BORGES, A. T. Um estudo de modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, p. 207-226, 1997.
- GIBIN, G. B. **Investigação sobre a construção de modelos mentais para o conceito de soluções por meio de animações.** 2009. 124 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- GILLESPIE, R. G. Commentary: reforming the general chemistry textbook. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 5, p. 484-485, 1997.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness.** Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983. 513 p.
- JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching. **University Chemistry Education**, v. 70, n. 9 p. 701-705, 1993.
- JOHNSTONE, A. H. Chemical education research: where from here? **University Chemistry Education**, v. 4, n. 1, p. 34-38, 2000.
- MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.1, n.3, p.193-232, 1996.
- MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M.; PALMERO, M. L. R. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. **Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 36-56, 2002.
- NORMAN, D. A. Some observations on mental models. In: GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (Eds.). **Mental models.** Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 1983. p. 6-14.
- WERNECK, D. L. **Estratégias digitais para o cinema independente.** 2005. 197 f. Dissertação (Mestrado em Artes) - Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- WU, H. K.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 7 p. 821-842, 2001.