

Por que os fogos de artifícios têm cores? Um estudo sobre o uso de mapas conceituais para potencializar a aprendizagem de conceitos químicos

Why fireworks present colors? A study about the use of concept maps to foster learning of chemical concepts

Joana Guilares de Aguiar

Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo
joanaguilares@usp.br

Paulo Rogério Miranda Correia

Escola de Artes, Ciências e Humanidade, Universidade de São Paulo
prmc@usp.br

Resumo

Muitas são as concepções alternativas sobre a presença das cores nos fogos de artifícios. Essa pesquisa propôs utilizar um mapa conceitual (MC) como material de ensino para potencializar a aprendizagem dos conceitos químicos nesse contexto. Ingressantes à USP (n=85) foram separados em quatro condições experimentais para avaliar o uso das dicas gráficas cor e número na aprendizagem. A análise dos dados considerou: a eficiência da instrução (combinação entre desempenho no pós-teste menos pré-testes e esforço mental percebido na tarefa) e, os padrões de resposta à questão aberta. A adição de ao menos uma dica gráfica ao MC facilitou a compreensão dos conceitos químicos sendo o MC com cor, para agrupar conteúdos similares, o mais efetivo. O MC com duas dicas gráficas simultâneas aumentou o esforço mental, porém, diminuiu a incidência de erros conceituais, gerando aplicações mais corretas do modelo atômico para justificar as cores nos fogos de artifícios.

Palavras chave: aprendizagem científica, dicas gráficas, ensino de química, mapas conceituais, modelos atômicos.

Abstract

There are many alternative conceptions about the presence of colors in fireworks. This research proposed the use of Concept Maps (Cmaps) as instructional material to foster the learning of chemical concepts. Students at University of Sao Paulo (n=85) were assigned into four experimental conditions in order to evaluate the use of graphical cues color and number on the learning outcomes. Data analysis considered the instructional effectiveness (combined measure of post-test minus pre-test performances and mental effort perceived on the task) and, the response pattern to the opened question. Adding at least one graphical cue in the Cmap scaffolds the understanding of chemical concepts, being the Cmap with color, to group similar content, the most effective one. The Cmap with two simultaneous graphical cues increased the mental effort, however, decreased the conceptual errors incidence leading to a more correctness application of atomic model, which justify the fireworks colors.

Key words: atomic models, chemical teaching, concept maps, graphical cues, scientific learning.

Introdução

Para aprender ciências é necessário considerar leis e teorias que a regem, não como descobertas feitas a partir da realidade, mas sim como construção de modelos e elaboração de leis que possam dar sentido a realidade observada (DRIVER ET AL, 1994, MORTIMER, 2000, POZO; CRESPO, 2006). No ensino de Química, essa discussão é muito importante já que se trata de uma ciência pautada em modelos, sejam eles atômicos, moleculares, reacionais, matemáticos.

Muitos são os trabalhos que estudam a concepção de professores e estudantes sobre os modelos atômicos (*e.g.* MORTIMER, 1995; JUSTI; GILBERT, 2000, TABER, 2001, SOUZA, JUSTI; FERREIRA, 2006). Destaca-se uma pesquisa recente de Melo e Lima Neto (2013), que escolhe o contexto das cores nos fogos de artifícios para que alunos de ensino médio, após intervenções didáticas propostas por dois licenciandos em Química, pudessem expor seus modelos mentais. Os resultados demonstram que para a maioria dos alunos: prevalece o modelo atômico de Dalton declarando o átomo como “uma bolinha de massa muito pequena”; a cor nos fogos de artifícios se deve a “corantes” adicionados em sua formulação; os fogos de artifícios são compostos por “corante, pólvora, cordão e areia”, sem menção aos sais metálicos necessários para gerar as cores; o discurso do especialista é adotado por memorização de que os fogos de artifícios apresentam “uma substância que nela dá origem aos fenômenos da incandescência e luminescência”, mas, sem saber explicar como ou porquê isso ocorre.

Frente a esse cenário, propomos a utilização de Mapas Conceituais (MCs) como forma de potencializar a aprendizagem de conceitos científicos. Os MCs vem sendo explorados como forma de estimular uma postura mentalmente ativa por parte dos alunos, que devem construir significados para relacionar seus conhecimentos prévios às novas informações apresentadas no material de ensino (AUSUBEL, 2000).

Mapas conceituais como material de ensino

Os MCs são organizadores gráficos úteis para tornar explícita a relação entre conceitos por meio de proposições (p.ex. substâncias — são formadas por → átomos). Os conceitos são imersos em uma rede proposicional, permitindo o processamento de informações na forma textual (conteúdo semântico) em uma organização visuoespacial. Desenvolvido por Novak e seus colaboradores, os MCs são utilizados para representar o conhecimento científico e, como uma ferramenta que estimula a aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2000; NOVAK, 2010).

Elaborar MCs é uma estratégia de ensino que auxilia os alunos em uma aprendizagem ativa, muitas vezes conduzindo à aprendizagem significativa. Entretanto, alguns trabalhos negligenciam a necessidade de treinamento prévio comprometendo seus benefícios a curto e longo prazo (AGUIAR; CORREIA, 2013). Uma solução é a utilização de MCs produzidos pelo professor como um material de ensino potencialmente significativo (AUSUBEL, 2000). Estudos mostram que a aprendizagem pode ser potencializada quando estudantes leem um MC elaborado pelo professor, ao invés de quando elaboram seus próprios MCs (STULL; MAYER, 2007). Para garantir melhores resultados de aprendizagem, o MC deverá estar otimizado, ou seja, levar em conta uma organização hierárquica dos conceitos, uma rede proposicional elaborada com parcimônia, além de um *layout* amigável para o leitor. Caso contrário, o aluno, novato no conteúdo, pode ser levado a uma sobrecarga cognitiva, impedindo a ocorrência da aprendizagem (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011).

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o uso de duas dicas gráficas (cor e número) no MC como forma de potencializar a aprendizagem de conceitos químicos. A hipótese é de que a adição das dicas gráficas no MC de estudo potencializará os ganhos de aprendizagem.

Metodologia

Procedimento de coleta dos dados

Metodologia quasi-experimental 2 (tipo de dica gráfica) X 2 (ausente-presente), resultando em quatro condições experimentais (Tabela 1). Alunos ingressantes à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (n=85) participaram da pesquisa. Todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O procedimento de coleta de dados ocorreu em quatro etapas sequenciais (a-d) durante uma aula de 50 minutos, descrito a seguir.

Condição experimental	n	Cor: Agrupamento de conceitos similares		Numeração: Ordem de leitura das proposições	
		Ausente	Presente	Ausente	Presente
SCSN: sem cor, sem número	21	XXX		XXX	
CCSN: com cor, sem número	20		XXX	XXX	
SCCN: sem cor, com número	22	XXX			XXX
CCCN: com cor, com número	22		XXX		XXX

Tabela 1: Descrição das condições experimentais em função das variáveis cor e número.

a. Pré-teste: 15 minutos para julgar 30 afirmações em escala Likert 4 níveis (discordo totalmente a concordo totalmente) e uma pergunta aberta. Instrumento validado com análise de consistência interna ($\alpha = 0,773$) e professores de Química de Ensino Médio e Superior.

Exemplo de afirmações: O espectro eletromagnético, na região do visível, pode ser visto na forma de cores (certa); O modelo de Rutherford-Bohr diz que o átomo tem uma parte periférica chamada núcleo (errada); Pergunta aberta: Qual a diferença entre fogos de artifícios de cor laranja e verde?

b. Estudo do MC: cada grupo recebeu um MC conforme características na Tabela 1. Os alunos tiveram de 15 a 20 minutos para estudar seu conteúdo sem qualquer anotação.

O MC CCCN (Figura 1) apresenta estrutura cíclica, remetendo a um processo complexo e sistêmico de causas e efeitos. As cores agrupam conceitos de conteúdo similar, remetendo a quatro áreas do conhecimento necessárias para responder “Por que os fogos de artifícios têm cores?”. A primeira (azul) diz respeito ao contexto de aquecimento dos fogos de artifícios e a queima das substâncias não-explosivas que as compõe; a segunda (verde) remete à estrutura atômica, segundo o modelo de Rutherford-Böhr, necessária para que o aluno transite do nível macroscópico para o submicroscópico; a terceira (amarela) diz respeito à organização da eletrosfera em níveis e subníveis de energia, importante para compreensão da absorção de energia quantizada; a quarta (rosa) apresenta os fenômenos da luminescência e incandescência capazes de gerar luz com comprimentos de onda no espectro visível (cor) ou não. Esse MC apresenta número nas proposições, sugerindo uma ordem de leitura do mais simples ao complexo.

c. Pós-teste: 10 minutos para julgar 29 afirmações em escala Likert 4 níveis e responder a pergunta objetiva aberta igual ao pré-teste ($\alpha = 0,764$).

d. Esforço mental: 2 minutos para que os alunos respondessem *Qual foi o seu esforço mental para compreender o conteúdo do MC?* usando escala Likert 7 níveis (muito, muito baixo a muito, muito alto). Medida psicométrica validada por Paas e van Merriënboer (1993).

Categoria	Subcategoria (Código)	O aluno declara que a diferença das cores nos fogos de artifícios se deve...	Exemplo
Ausente	Em branco (EB)	Resposta em branco	-
	Não sei (NS)	Não sabe a resposta	“Não tenho ideia”
Composição Química	Composição (CQ)	A composição química ou a substância presente nos fogos	“A substância química que os compõe”
	Elemento Químico (EQ)	Ao elemento químico presente nos fogos ou em sua composição	“A diferença está nos diferentes tipos de elementos químicos”
Transição Eletrônica	Nível de Energia (NE)	Aos níveis/subníveis de energia ou a diferença entre eles quando absorvem calor.	“Os níveis de energia em que cada elétron está antes e depois da queima”
	Absorção/Emissão de Luz (EL)	A absorção de energia e/ou emissão de luz, energia ou cor. Pode ou não haver menção sobre elétrons e energia quantizada.	“Depende da energia quantizada liberada”
	Espectro Eletromagnético (EE)	Algum fenômeno que envolva excitação eletrônica, luz emitida e sua correspondência ao espectro eletromagnético, podendo ou não mencionar o visível. Ou, ao fenômeno da luminescência e/ou incandescência	“A energia emitida sob a forma de luz visível é diferente, assim a frequência e o comprimento de onda no espectro luminoso corresponde a uma cor”
Erros Conceituais (EC)		A algum fenômeno que não condiz com o conhecimento científico ou referente a uma declaração confusa	“Fogos de artifícios é o mesmo que combustão de átomos químicos”

Tabela 2: Categorias e subcategorias definidas para análise das respostas à questão aberta do pré e pós-testes.

Resultados e Discussões

Eficiência da Instrução

As medidas de desempenho e esforço mental para cada condição experimental e seus valores normalizados (z) são apresentados na Tabela 3. A combinação desses valores permite calcular a eficiência da instrução, visualizada no gráfico da Figura 2.

Condições Experimentais	Ganho de aprendizagem (D)			Esforço Mental (EM)		
	<i>M</i>	<i>DP</i>	<i>z</i>	<i>M</i>	<i>DP</i>	<i>z</i>
SCSN (n = 21)	1,52	0,98	- 0,28	3,62	1,63	+ 0,22
CCSN (n = 20)	2,14	1,06	+ 0,70	3,85	1,49	- 0,14
SCCN (n = 22)	2,13	1,08	- 0,47	3,38	1,32	- 0,24
CCCN (n = 22)	1,62	1,36	0,00	3,84	1,34	+ 0,17

Tabela 3: Média e desvio-padrão (*M*, *DP*) absoluto e normalizado (z) de cada condição experimental.

Observando a Figura 2 é possível inferir que:

- Submeter o aluno a um estudo com MC sem nenhum tipo de dica gráfica (SCSN) é considerado o pior cenário de instrução ($E = -0,35$), uma vez que, os alunos percebem um alto EM combinado a um baixo D ($EM \gg D$). A falta de dicas gráficas que auxiliem o aluno a navegar pelo conteúdo do MC justifica o prejuízo à aprendizagem.
- Na condição SCCN, os alunos perceberam um baixo EM, porém, o ganho de aprendizagem também foi negativo ($EM > D$). Como consequência, a instrução apresentou baixa eficiência ($E = -0,16$). Sugerir uma ordem de leitura pela adição de números nas proposições auxiliou o aluno a navegar pelo conteúdo do MC, diminuindo o esforço mental necessário na tarefa. Porém, processar “números” junto com o conteúdo químico dificultou a aprendizagem.

- A condição CCSN é a única que apresenta alta eficiência ($E = +0,60$, pois $D \gg EM$). Isso indica que a adição de “cor” como forma de agrupar conceitos de conteúdo similar evitou um processo de sobrecarga cognitiva, potencializando a aprendizagem.
- A condição CCCN é o segundo pior cenário de instrução ($E = -0,12$), pois, o aluno tem seu desempenho ao redor da média, mas, experimentam algum esforço mental na tarefa ($EM > D$, pois $D \approx 0$). A presença das duas dicas gráficas simultaneamente no material de estudo gera uma carga cognitiva adicional, reduzindo recursos cognitivos que seriam destinados à aprendizagem dos conceitos científicos.

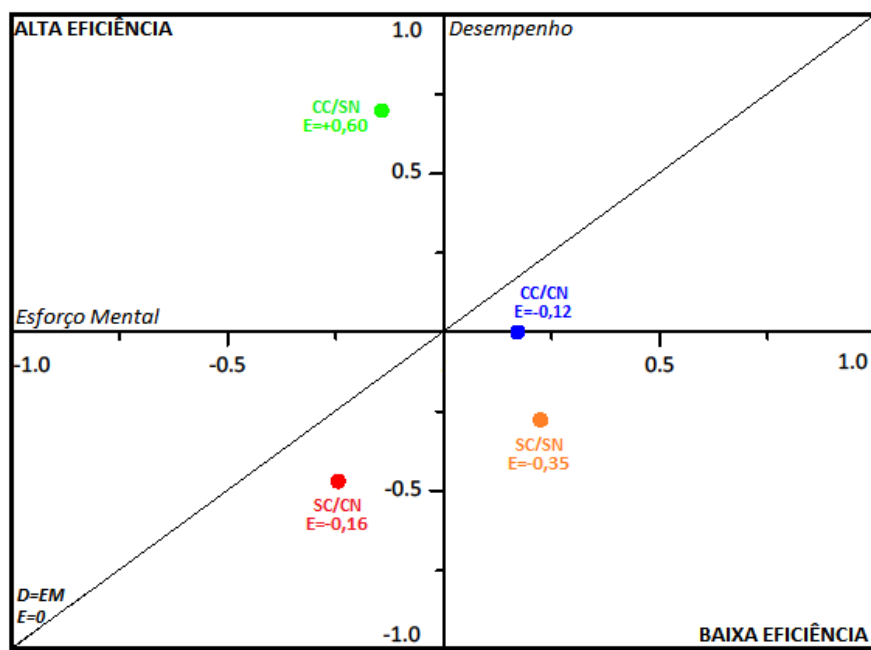


Figura 2: Eficiência da instrução (E) como função do ganho de aprendizagem (diferença entre o desempenho no pós e pré-teste) e esforço mental para compreender o conteúdo do MC nas condições experimentais.

De acordo com a Teoria da Dupla Codificação, as cores são processadas por canais imagéticos (visuais), separadamente dos canais verbais (semânticos) na qual os números são processados (PAIVIO, 1990). Na prática isso significa que os recursos da memória de trabalho (ou memória de curto-prazo) que deveriam ser destinados exclusivamente para processar os conceitos químicos, não competiu com o processamento das cores mas competiu com o processamento dos números. Consequentemente, o primeiro potencializou a aprendizagem enquanto o segundo causou um prejuízo nesse processo. De fato, alguns estudos na literatura apontam que a utilização de princípios Gestalt, como por exemplo, cor para denotar similaridade ou proximidade, associados a organizadores gráficos potencializam a recuperação de informação (e.g. WALLACE ET AL, 1998).

Os resultados também corroboram com os pressupostos da Teoria da Carga Cognitiva (SWELLER, AYRES, KALYUGA, 2011), a qual diz que a memória de trabalho é limitada e pode sofrer sobrecarga durante o processamento de informação contido no material de ensino. Alguns estudos discutem que no momento de elaboração de materiais de ensino de ciências, essa sobrecarga pode ser devido à quantidade de informação ou complexidade inerente ao conteúdo a ser aprendido (carga cognitiva intrínseca) ou ao formato da instrução desenhado para aquela tarefa (carga cognitiva extrínseca). Todos os grupos foram submetidos ao mesmo conteúdo (carga intrínseca fixa), portanto, as diferenças evidenciadas para o desempenho e esforço mental em cada grupo são devidas à imposição de maior ou menor carga extrínseca.

Padrões de Resposta à Questão Aberta

Independente da condição experimental, a frequência de alunos que apresentam respostas EB ou NS diminuiu de 21% para 7% após estudo com os MCs. Desses 18 alunos que passaram a fornecer algum tipo de resposta no pós-teste, nenhum deles se configurou em um EC, bem como os EC que antes somavam 15% caíram para 6% pós estudo com o MC (com ou sem dica gráfica). Analisando as 13 concepções prévias errôneas dos alunos é possível inferir que:

- 39% dos alunos utilizam de modo incorreto os aspectos reacionais para explicar as diferentes cores nos fogos de artifícios. Por exemplo, A67 diz que a diferença está no “*elemento químico usado como combustível*”, já A21 que diz que “*A composição diferente dos fogos leva às reações de combustão diferentes*”.
- 23% atribuem à presença de corantes as diferenças nas cores. Por exemplo, a fala explícita de A28 quando diz que são “*Os corantes na composição de cada um*”.
- 23% relacionam erroneamente às diferenças das cores nos fogos de artifícios com o nível/subnível de energia, como por exemplo, A47: “*A diferença está na velocidade com a qual se propaga a energia nos subníveis*” ou A61: “*Apresentam diferenças em suas eletrosferas*”.
- 8% justifica com algo que se relaciona à emissão de luz, porém, ainda de modo incorreto frente aos conceitos científicos, como A60: “*Quantidade de luz infravermelha liberada*”.
- 8% confunde a característica da substância em solução e em chama, como é o caso da A18: “*O elemento que compõe cada um deles define a sua cor (ex. cobre é azul)*”. Há uma confusão no modelo adotado para explicar o fenômeno, pois pelo modelo de solvatação de cátions metálicos a solução de cobre é azul mas pelo modelo de excitação eletrônica, geraria cor verde.

Esses erros conceituais estão diretamente relacionados à aplicação incorreta do modelo atômico cientificamente aceito para explicar o fenômeno macroscópico – modelo de Böhrr. A maioria dos alunos atribui à substância e não aos elementos ou elétrons à coloração dos fogos de artifícios, corroborando com os resultados encontrados por Melo e Lima Neto (2013).

Na Figura 3 é possível ver os histogramas que comparam o efeito das dicas gráficas na frequência de respostas antes (barras em azul) e após (barras em verde) o estudo com MCs. Era esperado que a complexidade das respostas dos alunos fosse aumentar após o estudo, fazendo-os migrar de concepções de senso comum (CQ), passando pelo conhecimento químico superficial (EQ) para concepções científicas mais elaboradas (NE), que envolvam a interação entre luz e matéria (EL) e sua relação com o espectro eletromagnético (EE). A Figura 3 mostra que esse padrão ocorre mais pronunciadamente após o estudo com o MC CCCN.

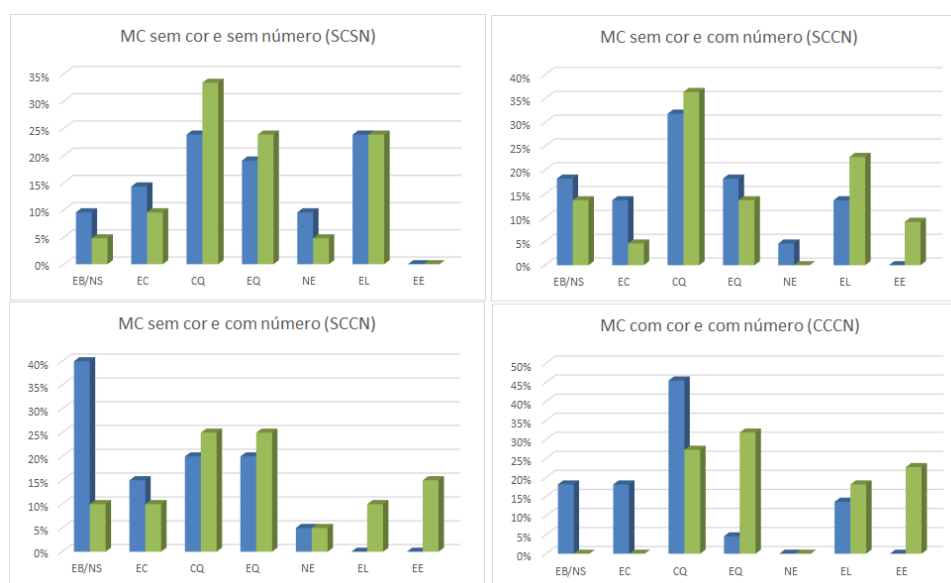


Figura 3: Frequência de respostas à questão aberta no pré-teste (barras em azul) e no pós-teste (barras em verde) em cada condição experimental. Categorias de respostas descritas na Tabela 2.

A presença de duas dicas gráficas ao MC ajudou na melhor compreensão entre as diferentes cores nos fogos de artifícios, uma vez que as categorias EB/NS e EC foram ambas de 18% a zero, o CQ foi diminuído em quase a metade (45% para 27%), e EE, que era inexistente, passou a aparecer em 23% das respostas. Isso se verifica, por exemplo, na resposta de A37, que migra de CQ: *“A diferença encontra-se na composição química destes”* para EE *“As cores dos fogos são diferenciadas pelo elemento químico que gera fenômenos de luminescência e incandescência”*. A adição de duas dicas gráficas simultâneas pode ter gerado uma alta carga extrínseca mas, que não foi capaz de levar os alunos a uma efetiva sobrecarga cognitiva.

A adição de ao menos uma dica gráfica ajuda na compreensão do conteúdo se comparada à situação SCSN. A aluna A75, que após estudo com MC CCSN, migra de um EC para categoria mais complexa EE: *“Fogos na cor laranja geraram espectros eletromagnéticos diferentes dos fogos na cor verde”*. E, a aluna A43, que após estudar MC SCCN, se expressa com mais rigor científico, migrando de NE *“A diferença está na quantidade de energia fornecida para a excitação do elétron”* para EE: *“A diferença está na energia absorvida pelos elétrons, pois essa energia pode fazer com que eles mudem de nível de energia, e, ao retornar, os elétrons a liberam em forma luz, que quando na região do visível, possuem cor”*.

Vale ressaltar que dos 13 alunos (15%) que possuíam inicialmente concepções errôneas, quatro deles (5%) permanecem em EC mesmo após a intervenção com os MCs. Entretanto, percebe-se que há uma mudança no seu padrão de complexidade. Por exemplo, A67 declara no pré-teste que a diferença era *“O elemento químico usado como combustível”*, e, posteriormente que a diferença é *“A quantidade de elétrons dos elementos químicos combustíveis dos fogos”*. Essa manutenção pode ter sido proveniente da adoção do discurso do professor (estabelecido pelas relações conceituais declaradas no MC), porém, de forma literal e sem sentido pelo aluno, o qual só o reproduz mecanicamente (AUSUBEL, 2000).

Conclusão

A presença das cores nos fogos de artifícios é um fenômeno que só pode ser explicado pela adoção de modelos atômicos que abarcam a excitação eletrônica e sua correspondência ao espectro eletromagnético (fronteira entre modelo de Bôhr e quântico). O nível de abstração e a transição entre os níveis representacionais podem gerar obstáculos de aprendizagem e uma série de concepções alternativas sobre o tema. Nesse estudo, os MCs se mostraram potenciais ferramentas de ensino, mesmo quando os alunos não o produzem. Há evidências de que para se atingir os melhores resultados de aprendizagem o MC precisa estar otimizado, *i.e.*, em estrutura amigável ao aluno e condizente com a natureza do conhecimento a ser mapeado.

A adição de dicas gráficas ao MC deve ser feita com cautela, visando sempre evitar uma situação de sobrecarga cognitiva. Quando se trata de gerar maiores ganhos de aprendizagem com menor esforço mental, a adição de somente cor para agrupar conceitos de mesma área de conhecimento, se mostrou a melhor otimização do MC. A adição simultânea de números nas proposições, como sugestão a ordem de leitura, parece ter surtido melhor efeito no momento em que os alunos precisaram explicitar o porquê das diferentes cores nos fogos de artifícios.

Apesar dos resultados apresentados estarem concordantes com teorias instrucionais e pesquisas empíricas da área, o seu grau de generalização será considerado baixo até que haja uma gama de estudos considerando: outras instâncias de ensino (*e.g.* ensino médio, fundamental, infantil, escolas públicas e privadas, maior quantidade de alunos, condições de sala de aula), diferentes temas dentro da química igualmente complexos e abstratos (*e.g.* ligações químicas, deslocamento de equilíbrio químico, descontinuidade da matéria), além de outras estratégias de otimização dos MCs (*e.g.* quantidade de conceitos, quantidade de proposições, estrutura hierárquica, cíclica ou em altamente integrada).

Referências

- AGUIAR, J. G.; CORREIA, P. R. M. Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, V. 13, n. 2, p. 141-157, 2013.
- AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- CARLSON, R.; CHANDLER, P.; SWELLER, J. Learning and Understanding Science Instructional Material. **Journal of Educational Psychology**, V.95, n.3, p. 629-640, 2003.
- DRIVER, R.; ASOKI, H.; LEACH, J.; SCOTT, P.; MORTIMER, E. F. Constructing scientific knowledge in the classroom. **Educational Research**, V. 23, n.7, p.5-12, 1994.
- JUSTI R.; GILBERT J. History and philosophy of science through models: some challenges in the case of ‘the atom’. **International Journal of Science Education**, V.22, p.993–1009, 2000.
- MELO, M. R.; LIMA NETO, E. G. Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos. **Química Nova na Escola**, V.35, n.2, p.112-122, 2013.
- MORTIMER, E. F. Concepções atomistas dos estudantes. **Química Nova na Escola**, V. 1, p. 23-26, 1995.
- _____. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2000.
- NOVAK, J. D. **Learning, creating and using knowledge: concept maps as facilitative tools in schools and corporations**. 2. Ed. Nova Iorque: Routledge. 2010.
- PAAS, F.; van MERRIENBOER, J. J. G. The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. **Human Factors**, V. 35, p.737–743, 1993.
- PAIVIO, A. **Mental representations: a dual coding approach**. Oxford: Oxford University Press, 1990.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R. E.; FERREIRA, P. F. M. Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, V. 2, n. 1, p. 7-28, 2006.
- STULL, A. T.; MAYER, R. E. Learning by Doing Versus Learning by Viewing: Three Experimental Comparisons of Learner-Generated Versus Author-Provided Graphic Organizers. **Journal of Educational Psychology**, V. 99, p. 808-820, 2007.
- SWELLER, J., AYRES, P.; KALYUGA, S. **Cognitive Load Theory**. Nova Iorque: Springer, 2011.
- TABER, K. S. When the analogy breaks down: modelling the atom on the solar system. **Physics Education**, V. 36, p. 222 – 226, 2001.
- WALLACE, D. S., WEST, S. W. C., WARE, A.; DANSEREAU, D. F. The effect of knowledge maps that incorporate Gestalt principles of learning. **The Journal of Experimental Education**, V. 67, n. 1, p. 5-16, 1998.