

Levantamento e análise das Simulações do PhET para o ensino e aprendizagem de Química

Survey and analysis of the PhET simulations for teaching and learning Chemistry

Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos

UAST - Universidade Federal Rural de Pernambuco

flaviacrisgomes@hotmail.com

Resumo

O presente trabalho apresenta um levantamento e análise das simulações de Química desenvolvidas pela equipe do PhET, da Universidade do Colorado. Estas simulações podem auxiliar professores que buscam a inserção de simulações interativas em suas aulas, bem como de possibilitar uma melhor compreensão dos fenômenos químicos. Foram analisadas 43 simulações nas diferentes áreas da Química, principalmente Química Geral e Físico Química. Os resultados demonstram que as simulações permitem a exploração de diferentes conteúdos com informações conceituais e simulações experimentais, que podem ser utilizadas em diferentes níveis de ensino, com possibilidades de avanços durante o processo de ensino e aprendizagem desta Ciência.

Palavras chave: ensino de Química, PhET, simulações

Abstract

This paper presents a survey and analysis of Chemistry simulations developed by PhET team, the University of Colorado. These simulations can help teachers seeking the inclusion of interactive simulations in their classes, as well as to enable a better understanding of chemical phenomena. Forty three simulations were analyzed in different areas of chemistry, especially General Chemistry and Physical Chemistry. The results show that the simulations allow the exploration of different content with conceptual and experimental simulations that can be used at different levels of education, with the possibility of advances during the teaching and learning process of this Science.

Key words: chemistry teaching, PhET, simulations

Introdução

Devido ao ensino de Química apresentar desafios únicos, nos quais os alunos, durante o seu processo de aprendizagem, devem considerar um sistema invisível, tais como as moléculas e suas interações, as simulações podem ser consideradas como ferramentas que auxiliem na compreensão dos fenômenos químicos e suas aplicações. Pesquisadores (WU, KRAJCIK, SOLOWAY, 2001; TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003, dentre outros) enfatizam a importância do uso de diferentes modos representativos diante das dificuldades dos alunos, sobretudo para que estes consigam relacionar as três dimensões do conhecimento

químico: macroscópica, submicroscópica e simbólica (JOHNSTONE, 1993).

A relação entre estes modos representativos, podem possibilitar uma melhor compreensão de um fenômeno Químico. O modo *macroscópico* tem relação com o visível, o campo observacional, que é elaborado pelas experiências de vida diante dos fenômenos e experiências que podem ser apresentadas nas aulas de Química; o modo *submicroscópico* é baseado na teoria da matéria particulada, usado para explicar o fenômeno macroscópico em termos de movimento eletrônico, interações atômicas e moleculares. As quais são reais, mas não observáveis, sendo necessária a representação simbólica e imagética para descrever o fenômeno e suas características. O modo *simbólico* pode ser apresentado através de equações químicas, gráficos, mecanismos de reações, os quais complementam as explicações utilizadas pelos químicos em diferentes contextos, desde a pesquisa científica até o ensino na Educação Básica (JOHNSTONE, 1993; TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003).

Neste sentido, alguns pontos podem ser considerados para melhor compreender porque os estudantes de Química apresentam dificuldades em relacionar estes três modos de conhecimento químico, como: a) As experiências práticas no modo macroscópico são inadequadas para os estudantes (NELSON, 2002); b) Conceitos errados sobre a natureza a modo submicroscópico, com base em confusões referentes à matéria e suas partículas (HARRISON; TRAGUST, 2002); c) A falta de compreensão da complexa convenção utilizada no modo simbólico (MARAIS; JORDAAN, 2000); e, d) A incapacidade de transitarem entre os três modos do conhecimento químico (GABEL, 1998; GABEL; BUNCE, 1994).

Estas pesquisas demonstram que as deficiências apresentadas pelos alunos da Educação Básica e/ou Superior, podem ser desenvolvidas também pela falta de acesso e utilização de recursos que represente o modo *submicroscópico*. Como também, a interpretação equivocada dos modelos representativos, pois muitos professores pensam em modelos como "reproduções" de alguma coisa (JUSTI; GILBERT, 2003). Entretanto, estes devem compreender que os modelos são ferramentas utilizadas pelos cientistas para produzir o conhecimento, mas que não são cópias da realidade. A importância desta constatação é de que, equivocadamente, os estudantes também interpretam o modelo como a representação do real, esta ideia emerge das informações presentes nos livros, como também das que são transmitidas pelos professores.

Dado que, quando os professores utilizam, de forma consciente, simulações que representam fenômenos no modo *submicroscópico*, eles conseguem reconhecer as vantagens e limitações que cada um delas possui em diferentes contextos (JUSTI, 2010). Entretanto, destaca-se a necessidade do professor ter domínio destes modos representativos e da noção de modelo ao planejar suas atividades didáticas.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo principal analisar as simulações de Química do PhET, que podem auxiliar professores e alunos durante o processo de ensino e aprendizagem de fenômenos químicos, a partir da transição entres os seus três modos representativos.

Investigações de uso de recursos tecnológicos no ensino de Química

Com o aprofundamento de estudos no ensino de Química, como por exemplo, nas investigações referentes à teoria corpuscular da matéria, recursos que representassem estas partículas tiveram que ser desenvolvidos e analisados quanto sua validação de uso. Na década de 90, pesquisadores com foco no ensino médio e superior (JOHNSTONE, 1993; DRIVER *et al*, 1994; HYDE *et al*, 1995; EALY, 1999) investigaram que recursos computacionais em sala de aula, do tipo 2D e 3D, potencializavam o processo de ensino e aprendizagem da Química e,

assim, os alunos conseguiam navegar entre os vários modos de representação, demonstrando porque tinham dificuldade em aprender no sistema de transmissão de conhecimentos (ensino tradicional).

Entretanto, sabe-se que umas das partes mais difíceis na aprendizagem de conteúdos químicos se refere à habilidade de visualizar arranjos moleculares tridimensionais (HYDE *et al*, 1995). Composto ainda este problema, a observação é de que é muito difícil ensinar de modo tradicional quando se pretende explicar a estereoquímica, as interações intermoleculares, arranjos moleculares, efeitos eletrônicos, dentre outros. Com o ensino tradicional, acredita-se que a interpretação imprópria das visualizações construídas durante o processo de aprendizagem possibilita a compreensão errônea dos conceitos químicos. Estes também podem ser desenvolvidos se o uso dos recursos visuais ocorrerem de modo equivocado, sendo necessário o cuidado por parte dos professores quanto à estratégia de exploração dos mesmos e das interpretações que os alunos constroem ao elaborar suas representações mentais (BRIGGS; BODNER, 2007).

De qualquer perspectiva que se investigue, é fato que professores pesquisadores e profissionais de Química necessitam do domínio em expressar os conhecimentos químicos pela articulação das três dimensões do conhecimento químico (JOHNSTONE, 1993; GABEL; BUNCE, 1994; GABEL, 1998; BOWEN, 1998), devido aos alunos apresentarem dificuldades em estabelecer relações entre estes modos (GIORDAN, 2008). Em outras palavras, pode se considerar que alguns estudantes de Química de nível superior aprendam de modo equivocado, e estes, caso se tornem professores, provavelmente ensinarão aos seus alunos do mesmo modo que aprenderam na educação básica. Um dos possíveis motivos pode ser devido à metodologia de ensino desarticulada entre os modos representativos e à ausência de formações estruturadas para o ensino de Química que relacione estes modos simultaneamente.

Neste sentido, o conhecimento de simulações da Química, por parte dos professores, bem como a sua exploração de forma estruturada, pode gerar avanços para uma melhor compreensão desta ciência.

As potencialidades do uso de simulações como recursos tecnológicos nas aulas de Química

Os avanços nas pesquisas no que se refere a aprendizagem de Química com auxílio de recursos tecnológicos, possibilitaram a criação e desenvolvimento de ferramentas que auxiliassem o processo de ensino e aprendizagem desta Ciência. Como exemplo, tem-se as simulações, que podem ser definidas como *softwares capazes de reproduzir fenômenos ou modelos científicos [...]. [Sendo] programas curtos em Java ou Flash projetados para serem executados na internet* (CASELLAS, GUITART, 2011, p. 154). Com funções básicas de auxiliar o professor durante a sua atuação docente e aos alunos, no seu processo de aprendizagem. Podendo ainda, serem classificadas como conceituais ou operacionais. E que,

As primeiras apresentam princípios, conceitos e fatos relacionados ao(s) evento(s) simulado(s), como a simulação da estruturação de uma molécula, da mudança de temperatura em determinadas substâncias ou da alteração da pressão exercida sobre alguma amostra. As últimas, incluem sequências de operações e procedimentos que podem ser aplicados ao(s) sistema(s) simulado(s), como por exemplo, as simulações pré-laboratoriais ou laboratoriais propriamente ditas, que permitem que o aluno exerça a execução correta de procedimentos em um laboratório (RIBEIRO, GRECA, 2003, p. 544).

Dentro desta definição, as simulações que mais se destacam para o uso no Ensino de Química,

são as do *PhET - Interactive Simulations*¹, projeto norte-americano estruturado na Universidade do Colorado que pesquisa e desenvolve simulações nesta área e em Física, Biologia, Matemática e Ciências da Terra. As simulações são escritas em Java, Flash ou HTML5 que podem ser executadas de forma on-line, e ser baixado no computador. As simulações do PhET fornecem aos usuários a interatividade com o recurso e as condições para compreensão de causa e efeito quando realizam determinado mecanismo proposto na simulação. Neste sentido, pode-se afirmar que estes envolvem os alunos para a compreensão das ciências, principalmente a partir da investigação, e com conexões com o mundo real.

Desenho metodológico do estudo

O presente trabalho caracteriza-se como um pesquisa qualitativa, que varia quanto o método, a forma e aos objetivos, auxiliando na descrição dos problemas e hipóteses levantadas, apresentando contribuições para possíveis mudanças no quadro que se investiga (OLIVEIRA, 1999). Logo, foi possível obter uma visão geral das simulações de Química presentes no site do *PhET* (<http://goo.gl/0ykEta>), identificando os conteúdos explorados, tipos de interação e lacunas para elaboração e desenvolvimento de novas simulações para a área.

As simulações foram escolhidas seguindo a técnica de Bardin (2006), que pode ser apresentada em três fases de organização: 1) Pré-Análise (identificação das simulações que explorem Química); 2) Exploração do Material; e, 3) Tratamento dos resultados, conclusão e interpretação. Ao todo, foram identificadas 50 simulações (Tabela 1), separadas no site em Química Geral (QG) e Química Quântica (QQ). Destas, 7 foram retiradas da análise (Marcadas em cinza na Tabela 1) devido a elas explorarem mais aspectos da Matemática (Fourier: criando ondas), e da ciência Física (as demais destacadas). Contudo, reforça-se que estas podem ser utilizadas no contexto do Ensino Superior, com matérias específicas principalmente as de QQ.

Após este levantamento e triagem inicial, foram analisados as 43 simulações identificadas com pontos que poderiam ser explorados nas aulas de Química da Educação Básica e/ou Superior. O conjunto de itens de análise compõem-se de as categorias: 1) **Área da Química** (Química Geral, Físico Química, Química Orgânica e Química Geral) e 2) **Tipos de Simulações** (Conceitual e Operacional, segundo Ribeiro e Greca (2003); Jogo e Outros (que não se enquadram as categorias anteriores).

Resultados e discussões

De início, foi identificado que todas as simulações apresentam um Guia do Professor em PDF criadas pela equipe do PhET, o qual poderá auxiliar o professor a estruturar suas aulas com o uso do recurso. Contudo, todos eles estão em inglês, o que pode dificultar a leitura para muitos professores da Educação Básica do país. Mesmo assim, ainda há espaço para aqueles que desejam divulgar as ideias que teve de uso da simulação, podendo esta ser enviada e disponibilizada on-line. Um aspecto positivo para os professores, visto que é possível analisar como o recurso é utilizado em diferentes lugares do mundo.

Baseando-se nas divisões de Ensino de Química na Educação Básica, percebeu-se que nenhum assunto relacionado a Química Orgânica foram desenvolvidos, até então, pela equipe do PhET. Sendo mais desenvolvidas simulações relacionadas a Química Geral (19+1), Físico Química (12) e Química Quântica (11+1), conforme pode ser visto na Tabela 2. Apenas uma simulação (Modelos do Átomo de Hidrogênio foi mantida em QG e QQ, devido a aplicação

¹ PhET, significa *Tecnologia Educacional em Física* e foi estruturado, inicialmente, pelo pesquisador Carl Wieman, laureado com o Prêmio Nobel de Física em 2001.

direta de princípios da Mecânica Quântica e diferentes modelos representativos para o átomo de Hidrogênio (Figura 1).

Balancesamentos de equações (QG)	Balões e Eletricidade estática (QG)	Balões e Empuxo (QG)
Blackbody spectrum (QG)	Concentração (QG)	Condutividade (QQ)
Construa uma molécula (QG)	Decaimento Alfa (QG)	Decaimento Beta (QG)
Densidade (QG)	Efeito Fotoelétrico (QG e QQ)	Escala de pH (QG)
Espalhamento de Rutherford (QG)	Estados da matéria (QG)	Estados da Matéria (Básico) (QG)
Estados Quânticos Ligados (QQ)	Experimento de Davisson-Germer (QQ)	Experimento de Stern-Gerlach (QQ)
Fissão Nuclear (QG e QQ)	Forma da Molécula (QG)	Forma da Molécula: Fundamentos (QG)
Formas de Energia e Transformações (QG)	Fourier: criando ondas (QQ)	Interações Atômicas (QG)
Interferência Quântica (QQ)	IRM Simplificada (QQ)	Isótopos e Massa Atômica (QG)
Jogo da Datação Radioativa (QG)	Lab Lei de Beer (QG)	Lâmpadas de Neônio e outras lâmpadas de descarga (QG)
Lasers (QQ)	Micro-Ondas (QG)	Modelos do Átomo de Hidrogênio (QG e QQ)
Molaridade (QG)	Moléculas e Luz (QG)	Monte um átomo (QG)
O efeito Estufa (QG)	Onda em Corda (QG)	Ondas de Rádio e Campos eletromagnéticos (QG)
Ph Scale: Basics (QG)	Polaridade da Molécula (QG)	Poços duplos e Ligações Covalentes (QQ)
Propriedade dos Gases (QG)	Reações e Taxas (QG)	Reações Reversíveis (QG)
Reagentes, Produtos e excesso (QG)	Sais e Solubilidade (QG)	Semicondutores (QQ)
Soluções Ácido-Base (QG)	Soluções de açúcar e Sal (QG)	-

Tabela 1: Lista das simulações de Química apresentadas no site do PhET.

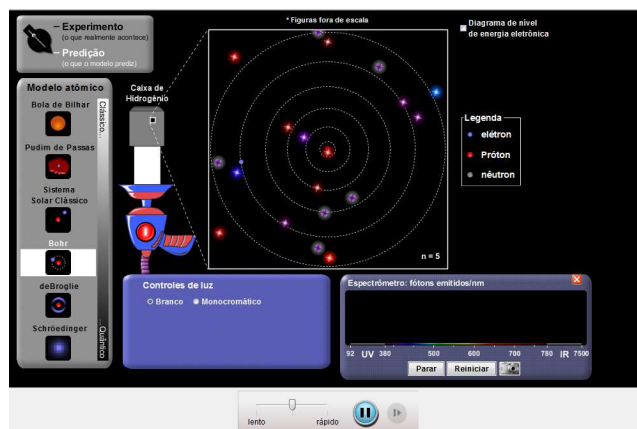


Figura 1: Simulação ‘Modelos do Átomo de Hidrogênio’ do PhET (Disponível em: <<http://goo.gl/SNAi3b>> Acesso: 9 abr. 2015)

Nesta simulação é possível visualizar diferentes modelos representativos para o átomo de Hidrogênio, verificando como a predição do modelo corresponde aos resultados obtidos

experimentalmente. Sendo assim, nesta simulação, os professores podem explorar com seus alunos, aspectos relacionados a construção de modelos, bem como de compreensão das diferentes representações imagéticas do átomo para cada cientista, além de facilitar a visualização de entidades abstratas (JUSTI, 2010).

Química Geral (QG)	Balancesamentos de equações; Balões e Empuxo; Construa uma molécula; Decaimento Alfa; Decaimento Beta; Espalhamento de Rutherford; Estados da matéria; Estados da Matéria (Básico); Fissão Nuclear; Forma da Molécula; Forma da Molécula: Fundamentos; Interações Atômicas; Isótopos e Massa Atômica; Jogo da Datação Radioativa; Lâmpadas de Neônio e outras lâmpadas de descarga; <u>Modelos do Átomo de Hidrogênio</u> ; Moléculas e Luz; Monte um átomo; Polaridade da Molécula; Reagentes, Produtos e excesso.
Físico-Química (FQ)	Concentração; Escala de pH; Lab Lei de Beer; Molaridade; O Efeito Estufa; Ph Scale: Basics; Propriedade dos Gases; Reações e Taxas; Reações Reversíveis; Sais e Solubilidade; Soluções Ácido-Base; Soluções de açúcar e Sal.
Química Orgânica (QO)	-----
Química Quântica (QQ)	Blackbody spectrum; Condutividade; Efeito Fotoelétrico; Estados Quânticos Ligados; Experimento de Davisson-Germer; Experimento de Stern-Gerlach; Interferência Quântica; IRM Simplificada; Lasers; Micro-Ondas; <u>Modelos do Átomo de Hidrogênio</u> ; Poços duplos e Ligações Covalentes.

Tabela 2: Classificação das simulações do PhET de acordo com a Área de Química.

Foram identificados também que há um quantitativo maior de simulações que exploram assuntos como Radioatividade (Decaimento Alfa; Decaimento Beta; Espalhamento de Rutherford; Fissão Nuclear; Jogo da Datação Radioativa) e Soluções (Concentração; Lab Lei de Beer; Molaridade; Sais e Solubilidade), o que pode auxiliar a compreensão desses assuntos de uma forma mais atrativa para os alunos, visto que eles geralmente são explorados através de discussões teóricas e cálculos matemáticos.

Em relação as simulações de Química Quântica, muitos dos assuntos explorados não são vistos no Ensino Médio, como por exemplo, ‘Energia de Spin’, ‘Modelo de Fóton de luz’ que podem ser explorados nas simulações “IRM Simplificada” e “Efeito fotoelétrico”, respectivamente. Contudo, podem ser explorados de forma ilustrativa ou com uma intervenção contextualizada, aproximando esses assuntos do cotidiano do aluno, como por exemplo, explicando como funciona um exame de Ressonância Magnética.

Conceituais	Balões e Empuxo; Blackbody spectrum; Construa uma molécula; Decaimento Alfa; Decaimento Beta; Espalhamento de Rutherford; Estados da matéria; Estados da Matéria (Básico); Estados Quânticos Ligados; Experimento de Stern-Gerlach; Fissão Nuclear; Forma da Molécula; Forma da Molécula: Fundamentos; Interações Atômicas; IRM Simplificada; Isótopos e Massa Atômica; Lâmpadas de Neônio e outras lâmpadas de descarga; Lasers; Micro-Ondas; Modelos do Átomo de Hidrogênio; Moléculas e Luz; Monte um átomo; O Efeito Estufa; Poços duplos e Ligações Covalentes; Polaridade da Molécula; Propriedade dos Gases; Reações Reversíveis; Reações e Taxas;
Operacionais	Concentração; Condutividade; Efeito Fotoelétrico; Escala de pH; Experimento de Davisson-Germer; Interferência Quântica; Lab Lei de Beer; Molaridade; Ph Scale: Basics; Sais e Solubilidade; Soluções Ácido-Base; Soluções de açúcar e Sal.
Jogos	Balancesamentos de equações; Jogo da Datação Radioativa; Reagentes, Produtos e excesso

Tabela 3: Classificação das simulações quanto o seu tipo, segundo Ribeiro e Greca (2003).

Referente ao tipo de simulação, foram identificadas 28 conceituais, 12 operacionais e, 3 Jogos (Tabela 3). Considerando que algumas escolas no país não possuem laboratórios de ensino, as simulações podem ser utilizadas como recursos auxiliares para professores e alunos. Destacando-se as simulações operacionais, como a ‘pH Scale: Basics’ e ‘Escala de pH’

(Figura 2), as quais exploram os assuntos de Diluição, concentração de íons hidrônio e hidroxila em relação a substâncias classificadas como ácidas ou básicas e o pH.

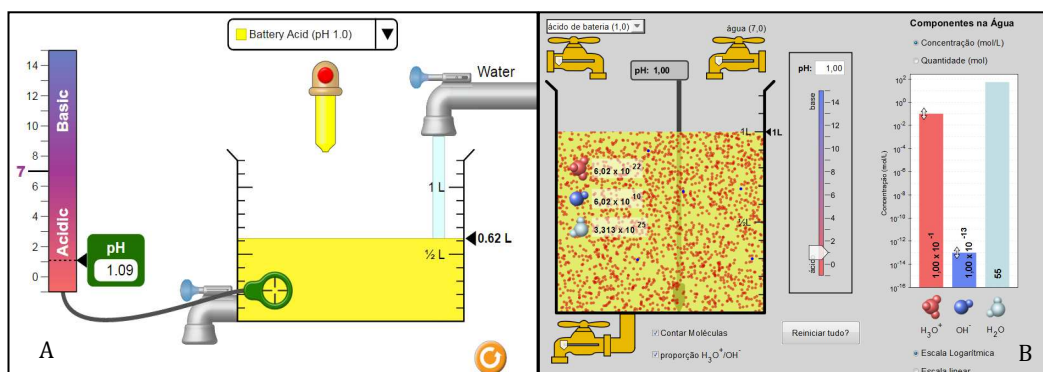


Figura 2: Simulações referentes ao assunto de pH do PhET. A) pH Scale (Disponível em: <<http://goo.gl/XB254v>> e, B) Escala de pH (Disponível em: <<http://goo.gl/nMxgiX>>) Acesso: 9 abr. 2015.

As simulações conceituais ‘Construa uma molécula; Forma da Molécula; Polaridade da Molécula’, podem auxiliar a compreensão das estruturas tridimensionais conforme Hyde *et al* (1995) tinham identificado como uma das problemáticas para se visualizar as estruturas Químicas.

Por fim, as que foram classificadas como Jogos, foi devido a essa denominação ter sido dada pela própria equipe do PhET, configurando-as como uma atividade mais lúdica. Ao manipulá-las, espera-se que os alunos possam compreender conceitos sobre tempo de meia vida e decaimento (Jogo da Datação Radioativa); reconhecer a conservação da quantidade de matéria em uma reação química (Balanceamento das Reações) e, o mesmo assunto ampliando com a identificação de reagente limitante (Reagentes, Produtos e Excesso). Esta última simulação ainda faz uma analogia com a quantidades de ingredientes para a preparação de sanduíches, o que pode ser realizado pelo próprio aluno de forma real.

Considerações finais

Mesmo com um número significativo de simulações de Química do PhET, foram identificados mais assuntos relacionados a Química Geral e Físico Química, o que pode dificultar a sua utilização para os professores que buscam simulações em outras áreas. Neste caso, destaca-se a necessidade de divulgar estas simulações e propor formas de uso para professores em formação inicial e continuada.

Após este levantamento, esta pesquisa será continuada com a estruturação de sequências didáticas que explorem estas simulações em aulas de Química para a Educação Básica, em conjunto com as atividades do PIBID Química da UAST-UFRPE. Buscando assim, investigar as potencialidades de uso das mesmas.

Referências

- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2006.
- BOWEN, C.W. Item design considerations for computer-based testing of student Learning in chemistry. **Journal of Chemical Education** v. 7, 1998, p. 1172-1175
- BRIGGS M.; BODNER G. A Model of Molecular Visualization. In John K. GILBERT (Eds.) **Visualization in Science Education**. Dordrecht: Springer. 2007. p. 61-72

CASELLAS, O.; GUITART, F. Simulaciones: herramientas para la enseñanza y el aprendizaje em Física y Química. In: CAAMAÑO (Coord.) **Física y Química: Investigación, innovación y buenas prácticas**. Barcelona: Ed. Graó, 2011, p. 153-169.

DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. **Educational Research**, v. 23, n.7, 1994. p. 5-12

EALY, J.B. A student evaluation of molecular modeling in first year college chemistry. **Journal of Chemical Education and Technology**, v.8, n. 4, 1999.p.309-321.

GABEL, D.L. The complexity of chemistry and implications for teaching. In: FRASER, B.J.; TOBIN, K.G. (Eds). In: **International Handbook of Science Education**. London: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 233-248.

GABEL, D.L.; BUNCE, D.M. Research on problem solving: chemistry. In: GABEL, D.L. (ed.). In **Handbook on research on Science Teaching and Learning**. New York, USA: Macmillan, 1994. p.301-326.

GIORDAN, M. **Computadores e Linguagens nas Aulas de Ciências**. Ijuí: Unijuí, 2008.

HARRISON, A.G.; TRAGUST, D.F. The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J.K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, and J.H. Van Driel (Eds.) **Chemical Education: towards research-based practice**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2002. p.189-212.

HYDE, R. T., SHAW, P. N., JACKSON, D. E., WOODS, K. Integration of molecular modeling algorithms with tutorial instruction. **Journal of Chemical Education**, v. 72, n. 8, 1995. p. 699-702.

JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching: a changing response to a changing demand. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9, 1993. p. 701-705.

JUSTI, R. Modelos e Modelagem no Ensino de Química: Um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: Wildson Luiz P. dos Santos; Otávio Aloísio Maldaner. (Org.). **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010. p. 209-230.

JUSTI, R.; GILBERT, J. Teachers' views on the nature of models. **International Journal of Science Education**. v. 25, n.11, 2003. p. 1369-1386.

MARAIS, P.; JORDAAN, F. Are we talking symbolic language for granted? **Journal of Chemical Education**, v. 77, n. 10, 2000. p.1355 – 1357.

NELSON, P. Teaching chemistry progressively: From substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. **Chemistry Education: Research and Practice**. v. p. 215-228.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de metodologia científica**: projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. 2. Ed. São Paulo: Pioneira, 1999.

RIBEIRO, A.A.; GRECA, I.M. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em Educação Química: uma revisão de literatura publicada. **Química Nova**. Vol. 26, n. 4, 2003, p. 542-549.

TREAGUST, D. F.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. L.. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 11, 2003, p. 1353–1368.

WU, H.; SHAH, P. Exploring Visuospatial Thinking in Chemistry Learning. **Wiley Periodicals, Inc**. v. 88, 2004. p. 465-492.