

ESTRATÉGIA DE *DESIGN* DO *SOFTWARE* EQUIL, UMA SIMULAÇÃO PARA ENSINO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO E SUA COMPARAÇÃO, EM SALA DE AULA, COM O *SOFTWARE* LE CHAT 2.0.

DESIGN STRATEGY OF THE SOFTWARE EQUIL, A SIMULATION FOR TEACHING CHEMICAL EQUILIBRIUM, AND ITS COMPARISON, IN THE CLASSROOM, WITH THE SOFTWARE LE CHAT 2.0.

**Gabriela Trindade Perry¹
Agostinho Serrano Andrade Neto²**

¹UFRGS/ Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção /gabrielaperry@hoytmail.com

²ULBRA/ Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática/serrano@ulbra.tche.br

RESUMO

Este trabalho possui dois objetivos, sendo o primeiro fundamentar as bases que orientaram o *design* do “Equil”, um *software* para ensino de equilíbrio químico, em nível secundário. O segundo objetivo é apresentar os resultados de um experimento com turmas do ensino médio, no qual se investigou os resultados obtidos com uma turma controle (n=25) e turmas utilizando os programas Equil (n=24) e Le Chat (n=23). Esta análise evidenciou um desempenho superior do grupo que utilizou o primeiro *software* em relação aos demais, em vários aspectos relacionados ao domínio representacional de um fenômeno químico. Contudo, uma análise do desempenho dos estudantes em testes tradicionais de concepções alternativas não mostra diferença estatisticamente significativa entre grupos. Finaliza-se com uma discussão sobre a necessidade de utilizar todos os níveis de representação de um fenômeno químico de forma simultânea dentro do mesmo *software*, para um ensino mais eficiente.

Palavras-chave: equilíbrio químico, *design*, ensino, concepções alternativas, níveis de representação de um fenômeno químico.

ABSTRACT

This paper has two aims, being the first to establish the basis which guided the *design* of “Equil”, a *software* for teaching chemical equilibrium at the high-school level. The second is to present the results of an experiment with classes of the 12th grade, analyzing the results of a control group (n=25) with groups using the softwares Equil (n=24) and Le Chat (n=23). Results indicate a superior performance of the group that used the first *software* with regard to the others, mainly when it comes to be able to correctly represent a chemical phenomenon. However, an analysis of students’ performance in traditional alternative conceptions tests does not show statistically significant differences among these groups. We conclude with a discussion on the need to use all representational levels all at once in a single *software*, to better increase students’ learning.

Keywords: chemical equilibrium, *design*, teaching, alternative conceptions, representational levels of chemical phenomenon.

INTRODUÇÃO

O equilíbrio químico é considerado um dos assuntos mais difíceis do currículo geral de química. É um conceito abstrato, que exige domínio de uma grande quantidade de conceitos subordinados, estando associado à utilização, pelos estudantes, de uma substancial quantidade de concepções alternativas. Desta forma, estratégias que não reforcem estas concepções são de interesse ao ensino de química.

A identificação dessas concepções foi explorada por Hackling e Garnett (1985), dentre outros, em uma pesquisa pioneira na qual, através de testes e entrevistas, encontram diversas concepções bastante prevalentes em sua amostra, sendo as mais freqüentes relacionadas à velocidade da reação (presentes em mais de 40% dos estudantes). Bergquist e Heikkinen (1990) e Quílez-Pardo e Solaz-Portolés (1995) também apresentaram trabalhos onde enumeraram e agrupam diversas concepções alternativas. De sua parte, Niaz (2001) dedicou um experimento à investigação do domínio que os estudantes têm do conceito velocidade da reação. O autor encontrou uma relação positiva entre responder corretamente às questões sobre velocidade e acertar as demais questões do teste proposto, o que indicaria que aqueles que entendem esse conceito também entenderiam os demais (por exemplo, o impacto da adição de produtos no deslocamento da concentração). Há, ainda, autores que relatam um grupo de concepções relacionadas especificamente ao nível microscópico. É o caso de Machado e Aragão (1996), que identificaram uma tendência em dividir o sistema em dois lados (reagentes e produtos). Como consequência, os estudantes poderiam acreditar ser possível alterar a concentração apenas dos reagentes ou apenas dos produtos, que as colisões teriam lugar apenas entre os reagentes ou apenas entre os produtos, ou ainda que seja possível alterar a temperatura ou a pressão em um dos lados do equilíbrio. Solomonidou e Stavridou (2001) relatam concepções tais como: representações inadequadas de sistemas em equilíbrio no nível atômico e dificuldades em conceber a evolução do sistema desde o estado inicial até alcançar o equilíbrio.

Estas informações apontam para as dificuldades enfrentadas pelos estudantes em relação a esse tema, o que confere às concepções alternativas uma grande importância na elaboração da interface. No entanto, atacar frontalmente cada uma das concepções alternativas supra relatadas não seria eficiente, pois não apenas estas são extremamente tenazes, como também a estratégia de confronto entre concepções alternativas e científicas, utilizando conflito cognitivo, é considerada insuficiente, podendo levar a uma equilibração minorante (MORTIMER, 1996). Aqui, optou-se por utilizar situações-problema onde essas concepções pudessem ser discutidas frente às científicas, utilizando o referencial conceitual-representacional proposto por Gabel (1993).

FUNDAMENTAÇÃO DO PROJETO DE INTERFACE DO EQUIL

O Equil, um *software* para ensino de equilíbrio químico, foi construído pelos autores deste artigo e testado, pela primeira vez, por Orlandi (2004). A trajetória desta pesquisa remonta ao início de 2004, quando começou a codificação do *software*. Sua construção foi a resposta do Laboratório de Tecnologia em Ensino de Ciências e Matemáticas, ligado ao programa de pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil - Canoas a uma demanda ligada às necessidades relatadas pelos professores e estudantes de química, em relação ao ensino de equilíbrio químico.

Como estratégia pedagógica para tratar deste tema partiu-se da hipótese lançada por Gabel (1993), que afirma que a química pode ser ensinada utilizando-se três níveis de representação: microscópico (ênfatisando átomos e moléculas); macroscópico (ou sensorio) e simbólico (abrangendo gráficos, fórmulas e equações químicas). A figura 1 mostra exemplos retirados do Equil. Resumidamente, acredita-se que, quando a natureza particulada (microscópica) é enfatizada, ela requer, necessariamente, um ou mais tipos de representação para gerar significados. O trabalho de Griffiths e Preston (1992), por exemplo, aponta para o fato de que este nível de representação não é compreendido de forma adequada. Entre as incompreensões detectadas estão: animismo, superestimação do tamanho das moléculas e crença que moléculas da mesma substância podem variar consideravelmente de tamanho, forma e peso em diferentes estados físico. Por esta razão, inicialmente o *software* Equil foi construído enfocando quase que apenas o nível representacional microscópico. Contudo, experimentos evidenciaram (ORLANDI, 2004) que o desempenho de um *software* bastante conhecido, o Le Chat, que explora o nível simbólico, era indiscutivelmente superior ao Equil, cujo conceito de design que focava, à época, o nível microscópico.

Outra hipótese central desse projeto foi apresentada por Kozma e Russell (1997), que em experimento envolvendo especialistas e novatos, verificaram que os primeiros demonstravam ser mais capazes de transpor informação ou conhecimento químico de uma determinada representação para outra. Os autores concluem que o projeto de ambientes multimídia deve promover a articulação de múltiplas formas de representação. Assim, reformulou-se a hipótese de *design* para trabalhar - dentro do âmbito do *software*, não apenas em sala de aula - os três níveis de forma articulada, sem sobressair especificamente determinado nível.

Tais propostas forneceram a estratégia a ser adotada pela interface do Equil. Ressalta-se que o modelo computacional utilizado não exaure a complexidade da reação química estudada ($\text{H}_{2(g)} + \text{I}_{2(g)} \leftrightarrow 2\text{HI}$), pois não representa, por exemplo, o fato de que a ela não é de primeira ordem. Esses aspectos foram considerados secundários em relação ao ensino do conceito de equilíbrio químico. Conforme se pode observar na figura 1, que mostra uma tela do *software*, o nível microscópico é importante para o trabalho, não excluindo, contudo, os demais níveis, articulados em todas as etapas da reação. Durante sua execução, é possível discutir conceitos abstratos e difíceis de explicar, tais como reversibilidade, a presença de reagentes e produtos em todas as etapas da reação e a natureza dinâmica do equilíbrio.

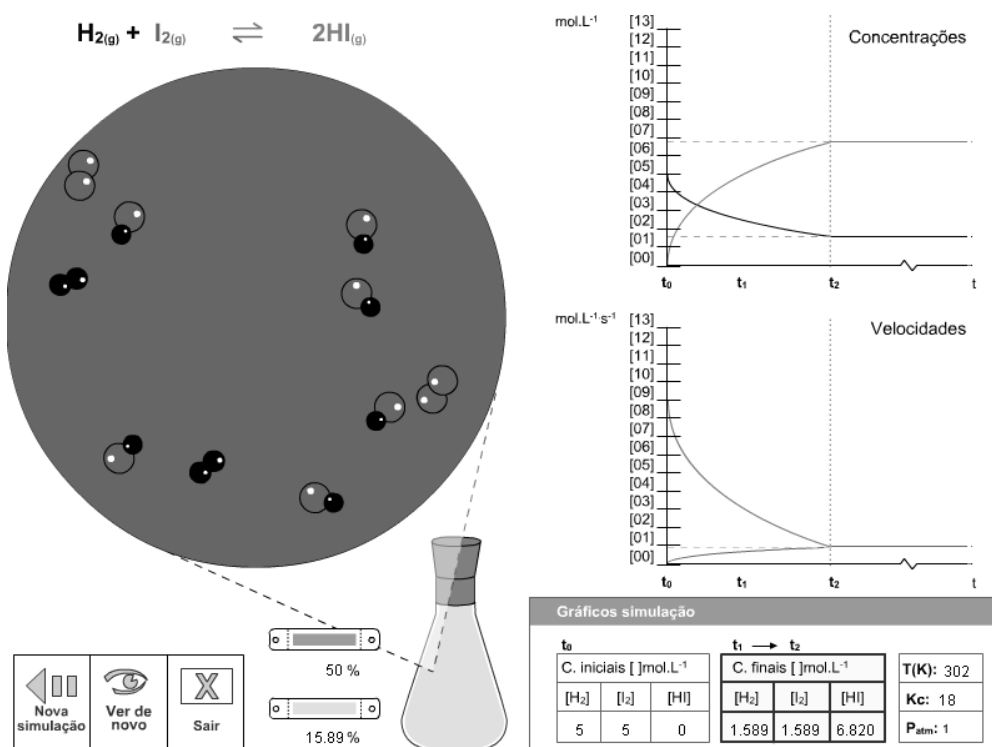


Figura 1) Interface do Equil.

Nas próximas seções será relatado o experimento que comparou o desempenho de uma turma controle com outras duas turmas, utilizando, separadamente, o Equil¹ e o popular *software* Le Chat 2.0², de autoria de Paiva (2000).

HIPÓTESES DO EXPERIMENTO

Deseja-se investigar se a compreensão de equilíbrio químico é favorecida por uma atividade educacional aliada ao uso de softwares específicos para este fim. Desta forma, foi planejado um experimento para aferir o desempenho de um grupo de estudantes utilizando o Equil, um grupo utilizando o Le Chat e um grupo não sofrendo a ação do tratamento, ou seja, uma turma controle. Por compreensão entende-se a capacidade de demonstrar conhecimento da evolução de uma reação em direção ao equilíbrio e de apresentar uma boa representação desta evolução, nos níveis microscópico, macroscópico e simbólico.

VARIÁVEIS EM ANÁLISE

Foram definidas oito variáveis, conforme segue, por se acreditar que elas descrevem com grande amplitude representações adequadas de conceitos relativos a equilíbrio químico: (1) RepMac: qualidade da representação macroscópica (mais especificamente a cor da reação) de um sistema em equilíbrio desde o instante inicial da reação, concebida pelo estudante; (2) ReAtom: nível representacional microscópico para reações químicas em fase gasosa; (3) AproEq: explora as concepções do estudante sobre a aproximação do equilíbrio no nível representacional microscópico através de ilustrações; (4) RepEqMi: representação microscópica

¹ O *software* está disponível na URL <http://www.gabriela.trindade.nom.br/produ.php>

² O *software* está disponível na URL http://nautilus.fis.uc.pt/wwwqui/equilibrio/port/eqq_lechat2.html

para o equilíbrio químico, complementar ao item anterior; (5) AproEqCo: aproximação do equilíbrio para as concentrações de reagentes e produtos no nível de representação simbólico, tanto a partir de respostas referentes ao estado atual e a tendência de uma reação nos instantes iniciais, quanto na representação gráfica das concentrações; (6) ConEq: concentração dos reagentes e dos produtos no equilíbrio químico, complementar ao item anterior; (7) AproEqVel: aproximação do equilíbrio para as velocidades da reação, através da exploração das idéias dos estudantes sobre o que acontece com as velocidades direta e inversa de uma reação nos instantes iniciais, baseado em respostas sobre o estado atual e a tendência de uma reação, bem como nos gráficos de velocidades; (8) VelEq: velocidade da reação no equilíbrio químico, complementar ao item anterior.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os instrumentos de coleta de dados são: um guia de simulação e um pós-teste. O guia de simulação, idêntico para as turmas que utilizaram os softwares Equil e Le Chat 2.0, contém questões que deveriam ser respondidas através da observação da reação simulada em cada um dos softwares, conforme a figura 2.



Figura 2) Reações utilizadas pelo grupo Le Chat 2.0 (à esquerda) e pelo grupo Equil (à direita).

Deve-se ressaltar que, antes de a turma que usou o Le Chat 2.0 começar a atividade com o guia, foi avisado com muita ênfase que o ácido clorídrico (HCl) deveria ser considerado o produto da reação. O pós-teste, por sua vez, era composto por questões de diversos tipos: múltipla escolha, desenho do nível microscópico, sobre a cor do frasco e dissertativas, sobre a reação mostrada à direita, na figura 2. Sua evolução foi estudada em relação a três momentos: t_0 , t_1 e t_2 , descrevendo, respectivamente, o momento da mistura, depois da mistura e antes do equilíbrio e depois do equilíbrio. Havia ainda questões dissertativas, de desenho de gráficos e sobre concepções alternativas. O conjunto de testes foi avaliado duas vezes pela mesma pessoa (um dos autores do *software* Equil), e as respostas classificadas de acordo com uma folha de correções³. A figura 3 mostra um excerto desse material, que ilustra como foi conduzida a classificação dos estudantes para a VelocEq. Deve ser ressaltado que ele foi elaborado antes de ser conduzido o experimento. A figura 4 mostra a tabulação das respostas do estudante 47 (L), que se enquadra na pontuação 2, e as do estudante 52 (C), que se enquadra na categoria 3.

| | Estado atual (1) | Tendência (2) | Relação (3) | Gráfico |
|---|------------------|---------------|-------------|---------|
| 5 | C | C | C | C |
| 4 | E | C | C | C |
| 3 | E/C | C | C | E |
| 2 | E | E | C | E. |
| 1 | E | E | E | N.A. |
| 0 | Em branco | | | |

(1) Velocidade direta é mínima /intermediária; inversa é máxima.

(2) A velocidade direta e a inversa tendem a permanecer as mesmas.

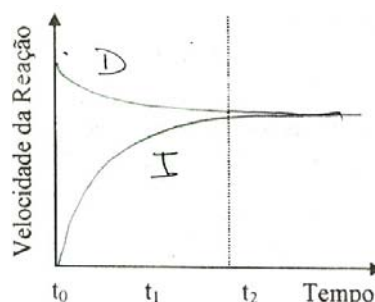
(3) A relação correta é D = I.

³ Todos os materiais utilizados para a realização e análise dos testes estão disponíveis na URL <http://www.gabriela.trindade.nom.br/produ.php>, o que possibilita a reprodução desta pesquisa

C Significa correto, E significa errado e N.A. significa não avaliado.

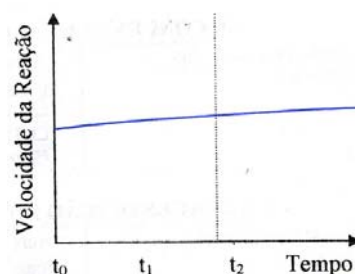
Figura 3) Excerto da folha de correções das respostas do pós-teste, para a variável VelocEq.

| | | |
|-----------|--------------|----------|
| 47 - L | t_2 | |
| VeloEq=2 | D | I |
| Estado | Igual a zero | Máxima |
| Tendência | Aumentar | Diminuir |
| Relação | $D > I$ | |



Respostas erradas para a tendência da reação e relação entre D e I são classificadas na categoria 1. No entanto, o estudante acertou o gráfico, o que foi considerado em sua classificação final (categoria 2).

| | | |
|-----------|--------------------------|--------------------------|
| 52 - C | t_2 | |
| VelocEq=3 | D | I |
| Estado | Intermediário | Intermediário |
| Tendência | Permanecer o mesmo valor | Permanecer o mesmo valor |
| Relação | $D = I$ | |



Este é um conjunto típico da categoria 3. O estado está errado (poderia estar certo), a tendência e a relação certas, e o gráfico errado.

Figura 4) Tabulação das respostas do estudante 47 (L) e do estudante 52 (C), para a variável VelocEq.

Deve ser ressaltado que há três grupos de variáveis complementares: AproEq e RepEqMI; AproEqCo e ConEq e AproEqVel e VelocEq. A pontuação atribuída a qualquer uma destas variáveis não afeta sua complementar, em qualquer outra das demais.

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O teste foi realizado no dia 22 de Maio de 2005, no Colégio Marista Rosário, na cidade de Porto Alegre. Participaram duas turmas de 3º ano do ensino médio, que haviam tido aula sobre equilíbrio químico há duas semanas. No total, participaram 76 estudantes, com média de idade de 16 anos e seis meses ($S = 0,53$), sendo 31 homens e 45 mulheres.

CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O primeiro passo foi reunir as turmas em uma única sala e explicar-lhes o objetivo do experimento e os procedimentos que seriam realizados. Em seguida foi conduzido um sorteio, no qual os estudantes retiraram de uma lata papéis dobrados contendo a letra E (Equil, 26 papéis); L (Le Chat, 25 papéis) ou C (Controle, 25 papéis), caracterizando um processo verdadeiramente aleatório. Foi dada a orientação de que não era permitido trocar de grupo. Após, os estudantes dos grupos E e L foram encaminhados até o laboratório de informática, enquanto o grupo C ficou na sala com o professor de química, fazendo uma folha de exercícios sobre um assunto diferente de equilíbrio químico. No laboratório cada uma das turmas ficou em salas separadas, realizando a atividade do guia de simulação com os softwares respectivos. Quando todos terminaram a

atividade (a duração desta etapa foi 45 minutos), voltaram para a sala de aula, onde se encontraram novamente com a turma C. Foi, então, aplicado um pós-teste, o que levou mais 45 minutos. Apesar das repetidas solicitações, dois estudantes do grupo E e dois do grupo L entregaram o pós-teste sem identificação, o que os excluiu da amostra. Dois estudantes do grupo E, três do grupo L e dez do grupo C entregaram os pós-testes com mais da metade das perguntas em branco, porém não foram excluídos da amostra. Assim, restaram nas turmas E, L e C, respectivamente 24, 23 e 25 estudantes. O arranjo utilizado foi o ilustrado na figura 5, pois, de acordo com Campbell e Stanley (1963), possibilita maior controle de fatores que poderiam comprometer a validade interna e externa do experimento.

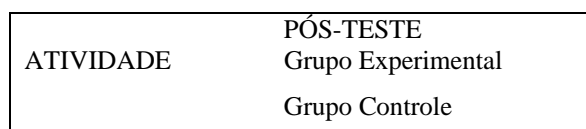


Figura 5) Arranjo utilizado no experimento, nomeado “Verdadeiramente Experimental”.

RESULTADOS

Uma vez atribuídas notas para todos os estudantes em cada uma das variáveis em estudo, aplicou-se o teste do qui-quadrado⁴. O motivo desta escolha deve-se ao fato que o uso de variáveis em escala ordinal torna incorreta a aplicação de testes que utilizam parâmetros tais como média e desvio padrão para descrever a amostra (por exemplo, ANOVA). Não utilizou-se o teste U de Mann-Whitney porque, em nosso entendimento, (quantidade de) conhecimento não é uma variável contínua. O qui-quadrado torna-se assim, a escolha ideal para o caso presente. Também é necessário ressaltar que, por questão de espaço, não foram incluídas todas as tabelas, apenas aquelas cujos resultados indicam significância estatística (em nível de 95%). As tabelas 1 a 4, mostradas a seguir, iniciam a apresentação dos resultados do experimento.

Tabela 1) Comparação da associação entre grupos e desempenho na variável RepMac.

| RepMac | | | | | | | | Total | p |
|--------|------------------|-------------|-------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------|------|
| GRUPO | | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | | |
| E | Frequência | 0,00 | 3,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 15,00 | 24,00 | 0,00 |
| | Resíduo Ajustado | -1,25 | -1,05 | -2,01 | -1,52 | -1,23 | 6,16 | | |
| L | Frequência | 0,00 | 4,00 | 2,00 | 8,00 | 9,00 | 0,00 | 23,00 | |
| | Resíduo Ajustado | -1,21 | -0,30 | -1,24 | 2,53 | 2,62 | -2,98 | | |
| C | Frequência | 3,00 | 7,00 | 9,00 | 3,00 | 3,00 | 0,00 | 25,00 | |
| | Resíduo Ajustado | 2,43 | 1,34 | 3,21 | -0,97 | -1,35 | -3,17 | | |

* Teste do qui-quadrado significativo a 5%

Tabela 2) Comparação da associação entre grupos e desempenho na variável ReAtom.

| ReAtom | | | | | | | | Total | p |
|--------|------------------|--------------|-------------|--------------|-------|-------------|--------------|-------|------|
| GRUPO | | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | | |
| E | Frequência | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 1,00 | 5,00 | 17,00 | 24,00 | 0,00 |
| | Resíduo Ajustado | -2,27 | -1,13 | -4,24 | -0,36 | 2,71 | 5,25 | | |
| L | Frequência | 1,00 | 6,00 | 15,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 23,00 | |
| | Resíduo Ajustado | -1,43 | 3,21 | 3,93 | -1,41 | -1,75 | -3,31 | | |

⁴ Nas tabelas onde não foi satisfeita a condição de não haver caselas com frequência menor do que 5, utilizou-se o teste Exato de Fisher, com simulação de Monte Carlo, para substituir o teste do qui-quadrado. O teste Exato de Fisher calcula a probabilidade exata de ocorrer as respostas obtidas, sem considerar a frequência de respostas nas caselas. A interpretação do teste é a mesma que do qui-quadrado, ou seja, rejeição de H_0 caso $p > 0,05$.

| | | | | | | | | |
|---|------------------|-------------|--------------|------|------|-------|--------------|-------|
| C | Frequência | 8,00 | 0,00 | 9,00 | 3,00 | 1,00 | 4,00 | 25,00 |
| | Resíduo Ajustado | 3,65 | -2,03 | 0,35 | 1,74 | -0,97 | -1,96 | |

* Teste do qui-quadrado significativo a 5%

Tabela 3) Comparação da associação entre grupos e desempenho na variável AproEq.

| AproEq | | | | | | | | | |
|--------|------------------|--------------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|------|
| GRUPO | | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | Total | p |
| E | Frequência | 0,00 | 1,00 | 6,00 | 1,00 | 1,00 | 15,00 | 24,00 | 0,00 |
| | Resíduo Ajustado | -2,27 | -1,69 | 0,20 | 0,51 | -0,66 | 2,72 | | |
| L | Frequência | 1,00 | 3,00 | 9,00 | 0,00 | 2,00 | 8,00 | 23,00 | |
| | Resíduo Ajustado | -1,43 | -0,14 | 2,12 | -0,98 | 0,40 | -0,65 | | |
| C | Frequência | 8,00 | 6,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 6,00 | 25,00 | |
| | Resíduo Ajustado | 3,65 | 1,81 | -2,27 | 0,46 | 0,26 | -2,05 | | |

* Teste do qui-quadrado significativo a 5%

Tabela 4) Comparação da associação entre grupos e desempenho na variável RepEqMi.

| RepEqMi | | | | | | | | | |
|---------|------------------|-------------|-------|-------|--------------|-------|--------------|-------|------|
| GRUPO | | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | Total | p |
| E | Frequência | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 10,00 | 0,00 | 10,00 | 24,00 | 0,00 |
| | Resíduo Ajustado | -1,85 | -1,69 | 0,73 | -0,67 | -0,71 | 4,02 | | |
| L | Frequência | 2,00 | 3,00 | 0,00 | 18,00 | 0,00 | 0,00 | 23,00 | |
| | Resíduo Ajustado | -1,06 | -0,14 | -1,41 | 3,61 | -0,69 | -2,60 | | |
| C | Frequência | 8,00 | 6,00 | 2,00 | 6,00 | 1,00 | 2,00 | 25,00 | |
| | Resíduo Ajustado | 2,88 | 1,81 | 0,66 | -2,88 | 1,38 | -1,44 | | |

* Teste do qui-quadrado significativo a 5%

Como se pode observar nas tabelas de 1 a 4, o grupo que utilizou o *software* Equil se saiu melhor do que o grupo que utilizou o Le Chat, e este melhor que o grupo Controle, nas variáveis RepMac, ReAtom, AproEqMi e RepEqMi. A análise dos resíduos ajustados⁵ permite observar que, para as pontuações mais altas, o grupo E tende a se desviar positivamente das frequências esperadas, contribuindo significativamente para a diferença entre os grupos, ao passo que, para as notas baixas, o oposto acontece. Este resultado era esperado, pois o Equil enfatiza bastante os níveis de representação macroscópico e microscópico, o que não acontece no Le Chat. Para dar um exemplo, pode-se tomar os dados da tabela 2, relativa à variável ReAtom. Nota-se que, o grupo que efetuou a simulação com o *software* Equil, popula com mais frequência o nível cinco, das melhores respostas (resíduo ajustado igual a 5,25). Já o grupo que usou o *software* Le Chat despopulou a categoria cinco (-3,31), ao mesmo tempo em que populou as categorias um (3,21) e dois (3,93). Finalmente, o grupo controle despopulou as categorias cinco (-1,96) e um (-2,03) e populou a categoria zero (3,65).

Contudo, para as variáveis do nível representacional simbólico, as diferenças diminuem. Aquelas que avaliam a descrição da evolução da reação para a concentração e para a velocidade (respectivamente AproEqCo e AproEqVel), do momento inicial até antes do equilíbrio, não apresentam diferença. Porém, pode-se afirmar que, em relação à qualidade da representação

⁵ Para comparar as frequências utilizando o valor do resíduo ajustado procede-se da seguinte forma: procuram-se, numa mesma coluna ou linha, os resíduos com módulo superior a 1,96. Estes apresentam contribuição significativa para a diferença entre as frequências observada e esperada (omitida por falta de espaço, calculada de acordo com: total da linha*total da coluna/total geral). O sinal é evidência de associação positiva ou negativa entre a variável e o grupo.

simbólica da reação após o equilíbrio, para a concentração e a velocidade, o grupo E saiu-se melhor do que os demais (tabelas 5 e 6, respectivamente relativas à ConEq e VelocEq).

Tabela 5) Comparação da associação entre grupos e desempenho na variável ConEq.

| ConEq | | | | | | | | | |
|-------|------------------|-------|-------|-------|--------------|-------------|--------------|-------|------|
| GRUPO | | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | Total | p |
| E | Frequência | 0,00 | 1,00 | 4,00 | 2,00 | 8,00 | 9,00 | 24,00 | 0,00 |
| | Resíduo Ajustado | -0,71 | 1,42 | 0,23 | -2,89 | -0,68 | 4,54 | | |
| L | Frequência | 1,00 | 0,00 | 3,00 | 5,00 | 14,00 | 0,00 | 23,00 | |
| | Resíduo Ajustado | 1,47 | -0,69 | -0,36 | -1,11 | 2,62 | -2,20 | | |
| C | Frequência | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 15,00 | 6,00 | 0,00 | 25,00 | |
| | Resíduo Ajustado | -0,73 | -0,73 | 0,12 | 3,96 | -1,89 | -2,34 | | |

* Teste do qui-quadrado significativo a 5%

Tabela 6) Comparação da associação entre grupos e desempenho na variável VelocEq.

| VelocEq | | | | | | | | | |
|---------|------------------|-------|-------|-------|--------------|--------------|-------|-------|------|
| GRUPO | | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | Total | p |
| E | Frequência | 0,00 | 1,00 | 6,00 | 0,00 | 14,00 | 3,00 | 24,00 | 0,00 |
| | Resíduo Ajustado | -0,71 | 1,42 | 0,20 | -3,98 | 2,98 | 0,90 | | |
| L | Frequência | 1,00 | 0,00 | 7,00 | 1,00 | 11,00 | 3,00 | 23,00 | |
| | Resíduo Ajustado | 1,47 | -0,69 | 0,93 | -3,31 | 1,60 | 0,99 | | |
| C | Frequência | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 21,00 | 0,00 | 0,00 | 25,00 | |
| | Resíduo Ajustado | -0,73 | -0,73 | -1,11 | 7,18 | -4,51 | -1,87 | | |

* Teste do qui-quadrado significativo a 5%

Observa-se, nas tabelas 5 e 6, que o grupo E desvia-se positivamente da frequência esperada nas pontuações altas com mais de intensidade que o grupo L. Atribui-se esse resultado à ênfase nos três níveis representacionais, o que parece possibilitar uma melhor articulação entre todos os níveis, dando significados mais ricos a cada um deles, no processo. Já o grupo C mostra performance mais fraca que os grupos E e L em ambas variáveis, contribuindo para popular a nota 3. Isso pode ser reflexo da avaliação, pois esta é a nota máxima atingida por estudantes que desenham gráficos não conformes. A figura 6 mostra o ranqueamento dos grupos em relação às oito variáveis em estudo.

| | | | |
|------------|-----------|--------------|-----------|
| 1. RepMac | E > L > C | 5. AproEqCo | E = L = C |
| 2. ReAtom | E > L > C | 6. ConEq | E > L > C |
| 3. AproEq | E > L > C | 7. AproEqVel | E = L = C |
| 4. RepEqMi | E > L > C | 8. VelEq | E > L > C |

Figura 6) Ranqueamento dos três grupos em relação às oito variáveis analisadas.

Estes resultados parecem indicar que a atividade educacional com uso de softwares apenas não surte efeito na compreensão da evolução da reação para as concentrações e para as velocidades, em nível microscópico. Por isso, é possível que os estudantes que utilizaram uma simulação computacional tenham decorado o formato dos gráficos, que, de outra forma, seriam tão precários como os do grupo C. Para dirimir tais dúvidas, cabe comparar o desempenho dos grupos em relação: (1) à questão que solicita o desenho de um gráfico, dadas as concentrações finais e iniciais de produtos e reagentes e (2) aos diferentes erros cometidos pelos estudantes ao desenhar os gráficos genéricos de concentração e velocidade. A seção seguinte deste artigo trata deste tema.

SOBRE A DEPENDÊNCIA ENTRE GRUPO E QUALIDADE DA REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA.

Havia uma questão (sem peso na pontuação atribuída aos estudantes para as oito variáveis em estudo, referidas anteriormente) no pós-teste, que solicitava ao estudante o desenho dos gráficos de concentração da reação genérica $A_2 + B_2 \leftrightarrow 2AB$, dadas as concentrações iniciais e finais dos produtos e reagentes. O teste do qui-quadrado não detectou diferenças entre os grupos, para o acerto ou erro desta questão, o que evidencia igual capacidade de respondê-la. As tabelas 7 e 8 mostram, por sua vez, os diferentes erros apresentados pelos estudantes de cada um dos grupos, para os gráficos genéricos de concentração e velocidade. Ressalta-se que nenhum estudante foi classificado em mais de uma categoria.

Tabela 7) Comparação do desempenho dos grupos em relação aos erros nos gráficos de concentração.

| GRUPO | | Erros dos gráficos de concentração | | | | | | | | | |
|-------|------------------|------------------------------------|------------|---------------------|---------------------|-------------|-------------|---------------------|--------------|-------|------|
| | | Nenhum erro | Sem rótulo | P = R no equilíbrio | P e R não se cruzam | Sem sentido | Inversão | Não inicia em (0,0) | Em branco | Total | p |
| E | Freqüência | 15,00 | 1,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 6,00 | 1,00 | 24,00 | 0,00 |
| | Resíduo Ajustado | 1,84 | 0,00 | -1,01 | 1,42 | -1,01 | -1,64 | 1,08 | -2,01 | | |
| L | Freqüência | 18,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 23,00 | |
| | Resíduo Ajustado | 3,61 | 0,05 | -0,98 | -0,69 | 2,09 | -1,59 | -2,07 | -1,92 | | |
| C | Freqüência | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 6,00 | 10,00 | 25,00 | |
| | Resíduo Ajustado | -5,36 | -0,05 | 1,97 | -0,73 | -1,05 | 3,18 | 0,96 | 3,87 | | |

* Teste do qui-quadrado significativo a 5%

Tabela 8) Comparação do desempenho dos grupos em relação aos erros nos gráficos de velocidade.

| GRUPO | | Erros dos gráficos de velocidade | | | | | | | | | |
|-------|------------------|----------------------------------|------------|--------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------|-------|------|--|
| | | Nenhum erro | Sem rótulo | Inversão | D ≠ I no equilíbrio | Sem sentido | Não inicia em (0,0) | Em branco | Total | p | |
| E | Freqüência | 7,00 | 2,00 | 9,00 | 3,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 24,00 | 0,00 | |
| | Resíduo Ajustado | 1,73 | 0,73 | 1,51 | -0,67 | -1,85 | 1,42 | -2,01 | | | |
| L | Freqüência | 6,00 | 1,00 | 10,00 | 4,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 23,00 | | |
| | Resíduo Ajustado | 1,21 | -0,31 | 2,25 | 0,11 | -1,06 | -0,69 | -2,60 | | | |
| C | Freqüência | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 5,00 | 8,00 | 0,00 | 11,00 | 25,00 | | |
| | Resíduo Ajustado | -2,90 | -0,42 | -3,71 | 0,55 | 2,88 | -0,73 | 4,54 | | | |

* Teste do qui-quadrado significativo a 5%

As tabelas 7 e 8 mostram que há diferenças quanto aos erros cometidos por cada grupo. Pode-se perceber, por exemplo, que o grupo C tende a apresentar mais respostas em branco que os grupos E e L. Em relação à concentração (tabela 7) se vê que o grupo E não tende a cometer nenhum erro em especial (nenhum dos resíduos é superior, em módulo, a 1,96), enquanto o grupo L apresenta mais gráficos sem sentido no contexto e o grupo C mais inversões e gráficos com produtos e reagentes iguais no equilíbrio (gráficos de velocidade). A mesma análise deve ser feita para a tabela 8. Desta forma, conclui-se que os estudantes do grupo C, de uma maneira geral, têm um desempenho mais fraco que os estudantes dos grupos E e L. A comparação entre os grupos E e L aponta, tanto na tabela 7 como na 8, vantagem para os estudantes do grupo E, que cometem menos erros. Assim, apesar de não existirem diferenças entre os três grupos, para as respostas final dos testes, os estudantes que utilizam o Equil tendem a não apresentar uma concepção alternativa específica, ao contrário dos demais.

SOBRE A DEPENDÊNCIA ENTRE GRUPO E A PRESENÇA DE CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE EQUILÍBRIO QUÍMICO.

Para investigar a associação entre o grupo e a presença de concepções alternativas sobre equilíbrio químico, foram analisadas as respostas das questões de múltipla escolha, do tipo verdadeiro/falso (agrupadas por assunto, conforme a figura 7). Nenhuma delas influenciou na pontuação atribuída aos estudantes para as oito variáveis em estudo.

| | | |
|---------|---|---|
| BLOCO 1 | A cor do frasco depende... | |
| | 1 | Do tamanho do iodo. |
| | 2 | Da massa do iodo. |
| | 3 | Da agitação das moléculas. |
| BLOCO 2 | Após a reação atingir o equilíbrio... | |
| | 4 | Da concentração de iodo. |
| | 5 | Há apenas moléculas de produtos. |
| BLOCO 3 | 6 | As moléculas de reagentes não se transformam mais em produtos e vice-versa. |
| | 7 | As moléculas se agitam menos do que antes de atingir o equilíbrio. |
| | 8 | A concentração de reagentes é igual a de produtos. |
| BLOCO 4 | 9 | Um terço das moléculas são de produtos (HI). |
| | 10 | Nenhuma das três alternativas acima está correta. |
| | 11 | A velocidade de formação de produtos é máxima. |
| BLOCO 5 | 12 | A velocidade de formação de produtos é mínima. |
| | 13 | A velocidade direta é igual à velocidade inversa. |
| BLOCO 6 | 14 | A reação direta deve se completar para que depois a reação inversa inicie. |
| BLOCO 7 | 15 | Iodo e Hidrogênio (os reagentes) estão sob a forma de íons. |
| BLOCO 7 | Sobre a velocidade da reação, considero que... | |
| | 16 | Se a velocidade da reação direta é maior que a reação inversa, ela termina antes. |
| | 17 | Se a velocidade da reação direta diminui, é porque a quantidade de produtos formados diminui em relação ao instante anterior. |

Figura 7) Questões do tipo verdadeiro/falso sobre concepções alternativas

O resultado do teste do qui-quadrado foi que os estudantes dos três grupos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em nenhuma destas comparações, o que evidencia igual capacidade de responder tais perguntas.

EXPOSIÇÃO DAS RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS DISSERTATIVAS DE ALGUNS ESTUDANTES

Além das análises dos dados estatísticos, é pertinente observar as respostas que foram dadas para as questões dissertativas. Elas evidenciam aspectos como a compreensão parcial de alguns conceitos e a influência do uso do *software* na atividade, entre outros.

Por exemplo, solicitou-se aos estudantes que desenhassem e explicassem o que estava acontecendo no frasco da reação em determinado momento (t_0 , t_1 e t_2). Para estas questões, em particular, surgiram padrões de respostas para cada um dos grupos. Nota-se, por exemplo, que dez estudantes do grupo L apresentam variações da afirmação que, após o equilíbrio “só restam produtos”, e quatro acreditam que “nada” está acontecendo. Os demais respondem de forma vaga: “a reação atingiu o equilíbrio”. Os estudantes do grupo C têm uma ampla variedade de concepções. “A quantidade de produtos e reagente é a mesma (3 sujeitos)”, “os produtos não viram mais reagente e vice-versa (4 sujeitos)”, “as moléculas estão todas unidas (2 sujeitos)”, “nada está acontecendo no frasco (1 sujeito)”. Oito estudantes deixaram esta questão em branco. Dois estudantes do grupo C demonstram estar em processo de construir uma compreensão mais completa do estado de equilíbrio: “há quantidade de produtos em relação a reagentes, mas a reação nunca pára”. No grupo E, quatro estudantes acreditam que, em t_2 , “já se formaram todos os produtos”, um que “a reação fica facilmente reversível” e um que “há igual quantidade de reagentes e produtos”. Dois crêem que “as moléculas estão em equilíbrio” e dois estudantes

deixaram esta questão em branco. No grupo E, percebe-se uma maior quantidade de justificativas bem construídas para o estado de equilíbrio, como: “situação de equilíbrio, nem muito H_2 , nem muito I_2 ”.

Em relação à representação microscópica, percebe-se de uma maneira geral que os estudantes adotam a convenção utilizada pelo *software*. Assim, os estudantes do grupo L representam os elementos da reação através de pontos, estrelas, círculos e polígonos os mais variados. Três estudantes do grupo L apresentaram compartimentalização da reação, três utilizaram fórmulas moleculares e um utilizou variações da equação (como $R \leftrightarrow P$). No grupo C encontram-se seis casos de compartimentalização, dois de uso da fórmula molecular e três de emprego de variações da equação química. Ainda no grupo C, oito estudantes responderam com um “?” às questões que solicitavam desenhos do nível microscópico. Nenhum estudante do grupo E apresentou os casos acima declarados.

Havia ainda uma questão que perguntava para o estudante se ele pensava que a reação pararia ou não depois de atingido o equilíbrio, já que a cor do frasco não se alterava mais. Eis algumas respostas: o estudante 5(E) afirmou que a reação pára porque “tem um final”; 6(E) acredita que ela pára porque “se estabiliza”. Denunciando a influência da visualização com o *software* sobre a construção do conceito de equilíbrio, 39 (L), respondeu que a reação pára, afinal “foi o que vi no laboratório de informática”. O estudante 53(C), por sua vez, evidencia possuir mais de uma concepção alternativa sustentando sua compreensão de equilíbrio: “a reação pára, pois não tem mais velocidade, pois cessou e quando a cor estabiliza significa que não há mais formação”. Subvertendo o princípio de reversibilidade do equilíbrio, 41(L) escreveu que a reação não pára, pois “agora a reação voltará separando as moléculas novamente, assim ela ficará indo e voltando”. Houve, é claro, estudantes que evidenciaram dominar de forma mais ampla este aspecto do equilíbrio, sustentando-a a partir do fato de que as velocidades se igualam. Exemplos são o estudante 4(E): “as reações continuam acontecendo com velocidades iguais. Por isso a cor não muda mais” e 58(C): “a reação parece parar, pois a velocidade de formação de produtos e reagentes é a mesma, está no equilíbrio”.

A última questão dissertativa do pós-teste perguntava se os estudantes concordavam com a afirmação: “o rendimento desta reação [genérica] não é 100%, ou seja, após atingir o equilíbrio, ainda haverá moléculas de reagentes (A_2 e B_2). Isto é evidência que estas moléculas de não reagiram?”. Este não é um enfoque usual para problemas de equilíbrio no nível médio, o que permite inferir que muitos estudantes nunca haviam sido inquiridos sobre isso. As repostas denotam incompreensão da natureza probabilística do equilíbrio químico, que parece afetar particularmente a noção de rendimento, associando-o à quantidade de moléculas que reagiram. Por exemplo, o estudante 66(C) acredita que “sim, porque sempre tem moléculas que não reagem”, e 20(E) afirma que “sim, por isso que o rendimento não é 100%”. Certamente houve estudantes (23 de 72) que perceberam a falácia: “o fato de haver reagentes no equilíbrio não é evidência nenhuma”, porém, a grande quantidade de estudantes que não responderam esta questão ou que o fizeram de maneira vaga ou errada (49 de 72) pode indicar um aspecto que merece mais atenção dos professores, já que equilíbrio químico é um conceito que demanda compreensão estatística.

CONCLUSÕES

Os resultados da análise estatística principal, ou seja, da comparação dos três grupos em relação a oito variáveis estabelecidas como fundamentais para a compreensão de equilíbrio químico, evidencia diferença de desempenho para aquelas relacionadas com os níveis macroscópico e microscópico, com vantagem para o grupo E. Pode-se inferir que a performance superior dos grupos E e L sobre o grupo C deve-se ao fato de que é difícil, em um contexto de

ensino presencial, explicar a evolução de uma reação nesses níveis sem uma ferramenta de visualização. O desempenho superior do grupo E sobre o grupo L pode ser explicado pela riqueza representacional do nível microscópico, ou seja, por sua capacidade de expor a natureza dinâmica do equilíbrio químico, e pela articulação entre os três níveis presente no *software*. Essa articulação, particularmente para equilíbrio químico, é difícil de conseguir por outros meios (como o quadro-negro, por exemplo). A hipótese da importância da articulação entre os níveis ficou reforçada pelo fato que, em experimento anterior (ORLANDI, 2004), a versão mais antiga do Equil apresenta um desempenho inferior ao Le Chat. Esta versão focava quase que exclusivamente o nível microscópico. Em compensação, o fato de estes estudantes (dos grupos E e L) terem, efetivamente, apresentado um melhor resultado de forma geral, não significa, necessariamente, que eles tenham eliminado suas robustas concepções alternativas. Evidência disso é o fato de não terem sido detectadas diferenças para: (1) as variáveis que descrevem a evolução da reação para as concentrações e para as velocidades; (2) a questão que solicita o desenho de um gráfico, dada as condições iniciais e finais da reação; (3) as questões dissertativas e (4) as questões sobre concepções alternativas. Ainda em relação à análise estatística, detectou-se uma representação gráfica (associada ao nível simbólico) de maior qualidade nos grupos E e L, nesta ordem, em comparação ao grupo C. Esse resultado indica que, apesar de a inserção de uma atividade apoiada por softwares específicos para o assunto não ser suficiente, por si, para alavancar a compreensão (e possivelmente a interpretação) do nível simbólico, pode ser percebida uma importante melhora. Acredita-se que tais resultados possam ser considerados como justificativa para investir em projetos de inserção mais estruturados, para este tipo de atividade.

Assim, esta pesquisa cumpre com seu objetivo principal, que é fornecer subsídios para o uso otimizado de softwares de simulação para ensino de equilíbrio químico. Os aspectos conceituais cuja compreensão pode ser impulsionada por esta classe de ferramentas são, sem dúvida, importantes para o ensino deste tema complexo. No entanto, não restam dúvidas de que cabe ao professor a tarefa de introduzir estes softwares de forma criativa em sua prática discente.

O outro resultado a que chega esta pesquisa interessa particularmente àquela audiência envolvida com o desenvolvimento de softwares para o ensino de ciências. Assim, afirma-se que as escolhas de *design*, que determinam a aparência de uma interface, têm impacto significativos na qualidade do *software*. Para tais decisões surtirem efeito, devem estar apoiadas em um projeto educacional eficiente em sua tarefa de apontar o conjunto de requisitos principais. O fato de esse conjunto de resultados ser fruto de um projeto de pesquisa que vem sendo executado e refinado há bastante tempo também contribui ativamente para a qualidade do *software* construído e para a solidez dos dados expostos, o que justifica o investimento nessa área.

REFERÊNCIAS

- CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J.C, Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research on Teaching. In N. L. Gage (ed.), **Handbook of Research on Teaching**. Chicago: Rand McNally, 1963.
- GRIFFITHS, A. K.; PRESTON, K. R. Grade-12 Student's Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29 n .6, p. 611- 628, 1992.
- GABEL, D. Use of the Particulate Nature of Matter in Developing Conceptual Understanding. **Journal of Chemical Education**, v. 70 n. 3, p. 193-194, 1993.

- HACKLING, M. W.; GARNETT, P. J. Misconceptions of Chemical Equilibrium. **European Journal of Science Education**, v. 7 n. 2, p. 205-214, 1985.
- KOZMA, R. B.; RUSSEL, J. Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34 n. 9, p. 949-968, 1997.
- MACHADO, A. H.; ARAGÃO, R. M. R. Como os Estudantes Concebem o Estado de Equilíbrio Químico. *Química Nova na Escola*, v.4, p. 18-20, 1996. Disponível em <<http://sbqensino.foco.fae.ufmg.br/uploads/471/aluno.pdf>> Acesso em 20 abr. 2004.
- MORTIMER, E. F; Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: Para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v.1 n. 1, 1996. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/ienci>> Acesso em 10 mar 2004.
- NIAZ, M. Response to Contradiction: Conflict Resolution Strategies Used by Students in Solving Problems of Chemical Equilibrium. **Journal of Science Education and Technology**, v. 10 n. 2, p. 205-211, 2001.
- ORLANDI, C. C. (2004) Um Estudo Sobre a Utilização de Simulações Computacionais no Ensino de Equilíbrio Químico. Canoas: Universidade Luterana do Brasil, Dissertação.
- PAIVA, J. C. Ensino do Equilíbrio Químico: Subtilezas e Simulações Computacionais. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2000. Tese (Doutorado) – Departamento de Química da Universidade de Aveiro. Portugal. Disponível em <www.fis.uc.pt/~jcpaiva/td> Acesso em 25 ago 2004.
- QUÍLEZ-PARDO, J.; SOLAZ-PORTOLÉS, J. J. Student's and Teacher's Misapplication of Le Chatelier's Principle: Implications for the Teaching of Chemical Equilibrium. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 32 n.9, p. 939-957, 1995.
- SOLOMONIDOU, C.; STAVRIDOU, H. *Design and Development of a Computer Learning Environment on the Basis of Student's Initial Conceptions and Learning Difficulties About Chemical Equilibrium*. **Education and information Technologies**, v. 6 n. 1, p. 5-27, 2001.