

UM EXEMPLO DO USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS APLICADOS NO ENSINO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO PARA ESTUDANTES DE ENSINO MÉDIO [♦]

Cláudia Carobin

le70@terra.com.br

Agostinho Serrano de Andrade Neto

serrano@ulbra.tche.br

Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática

Universidade Luterana do Brasil

Resumo

Neste artigo, apresentamos análise da aplicação de uma simulação computacional no Ensino de Equilíbrio Químico, para estudantes de Ensino Médio (Software *Lê Chat*). Utilizamos as concepções alternativas dos estudantes documentadas na literatura para concepção da atividade, auxiliando o estudante na sua superação, bem como no uso articulado dos três níveis de representação de um fenômeno químico (Macroscópico, Microscópico e Simbólico). Foi utilizada a estratégia P.O.E. (*Predict-Observe-Explain*) na confecção da atividade computacional. Os resultados da análise indicam que os estudantes persistem em determinadas concepções alternativas já bem documentadas, principalmente dentro do nível de representação microscópico de um fenômeno químico. Já para o nível de representação simbólico observou-se que houve uma substancial melhora em direção a concepções científicas após a utilização da simulação. Entretanto, alguns estudantes apresentaram regressão conceitual, dentro do nível microscópico, após o uso do mesmo software. Finalmente, a técnica P.O.E. foi bem recebida pelos estudantes que se empenharam para efetuar a atividade.

Palavras-chave: Níveis de Representação de Fenômenos Químicos; Simulações Computacionais; Concepções Alternativas.

Introdução

O estudo da química torna-se mais significativo quando estudado e articulado nos três níveis de representação de um fenômeno químico. Segundo Gabel (1993), estes níveis de representação constituem-se no nível macroscópico (experimentos, observáveis e mensuráveis, dentre outros), microscópico (partículas, átomos, íons e moléculas) e o simbólico (símbolos, equações, coeficientes, gráficos e números). Alguns estudos têm apresentado interesse em aperfeiçoar o entendimento dos estudantes de fenômenos químicos nestes níveis representacionais e fornecem alternativas que podem ajudar nesta compreensão (Nicoll, 2003; Sanger *et al.*, 2000; Bem-Zvi, Eylon & Silberstein, 1986; Keig & Rubba, 1993; Kozma & Russel, 1997). As alternativas propostas por estes autores baseiam-se em experiências obtidas em sala de aula com atividades experimentais e principalmente na utilização de ferramentas computacionais.

A utilização de novas tecnologias educacionais, e em particular simulações computacionais, têm se constituído uma ferramenta muito eficaz para representar sistemas macroscópicos, sistemas químicos à nível de partículas (microscópico) e representação simbólica envolvendo equações, cálculos e gráficos.

[♦] Apoio: CAPES, CNPq, FAPERGS e ULBRA.

A representação mental do comportamento microscópico, em particular, constitui um aspecto de grande dificuldade detectada nos estudantes (Bem-Zvi *et al.*, 1986, Solomonidou and Stavridou, 2001). Uma simulação computacional pode reproduzir efeitos muito semelhantes a um modelo científico aceitável de uma situação em nível molecular. A articulação entre os níveis representacionais em uma simulação pode focalizar o microscópico e o simbólico de maneira eficaz. Segundo Valente (1999), estudantes de física apresentam muitas dificuldades também na interpretação e representação simbólica. Por este motivo, ele afirma que “a simulação permite desenvolver a conexão entre o movimento (físico) e a correspondente representação gráfica” (sic).

No tópico de Equilíbrio Químico, podemos nos restringir a explorar alguns níveis de representação, como o microscópico e o simbólico, com a utilização de simulações. O estudante pode melhorar o seu entendimento sobre representações microscópicas e simbólicas, quando visualiza ao mesmo tempo o comportamento cinético molecular e a construção do gráfico. O confronto entre a imagem da simulação, que fornece um modelo científico correto do fenômeno e algumas idéias prévias e incorretas dos estudantes, tanto em nível microscópico e simbólico, pode ajudar a compreender e até mesmo aperfeiçoar aspectos de difícil entendimento, como a reversibilidade e o dinamismo de um estado de Equilíbrio Químico. Sendo assim, o objetivo do uso de simulações e a articulação entre os níveis de representação, é de possibilitar aos estudantes aprender conceitualmente o processo das reações químicas reversíveis.

O ensino atual não enfatiza os aspectos conceituais de Equilíbrio Químico em sala de aula, mas basicamente os aspectos simbólicos com a resolução de problemas do tipo algoritmo-numérico, com problemas fechados e de simples aplicação de fórmulas Raviolo, 1997 (apud Nurrenbern and Pickering, 1987). Mesmo assim, várias são as dificuldades já identificadas sobre na resolução de problemas (Nurrenbern and Pickering 1987). Assim, a resolução de problemas de Equilíbrio Químico, centrando a atividade na exploração dos aspectos conceituais destes problemas pode ser uma estratégia valiosa para o ensino, em especial, mais eficaz se a atividade for confeccionada nos três níveis de representação dos fenômenos químicos.

Na literatura, diversas são as Concepções Alternativas (CA's) apresentadas por estudantes no tópico de equilíbrio químico. As concepções alternativas não necessariamente são fruto apenas de idéias espontâneas dos estudantes, mas também existe uma parcela importante advinda de idéias induzidas ou mal compreendidas através do processo de ensino (Johnstone *et al.* 1977, Hackling and Garnett, 1985 Raviolo *et al.* 2000). A utilização de analogias proferidas pelo professor e encontradas em livros textos (Maskill & Cachapuz, 1989 apud Quílez Pardo and Sanjosé López, 1995) e associadas a problemas de linguagem Bergquist and Heikkinen, 1990 (apud Quílez Pardo and Sanjosé López, 1995) pode ser uma fonte do aparecimento destas concepções. Como exemplo, Raviolo *et al.* 2000, cita analogias como a utilização de balanças, transvasar água entre dois recipientes e andar de bicicleta para transmitir a idéia de equilíbrio. Estas analogias estão mais próximas à do Equilíbrio físico, e não esclarecem a idéia essencialmente dinâmica presente no equilíbrio químico, onde o equilíbrio ocorre pela competição entre dois processos de forma contínua.

Neste artigo, apresentamos uma análise de um estudo piloto envolvendo o uso de simulações computacionais para verificar qual o resultado de uma intervenção, utilizando simulações na resolução de problemas de Equilíbrio Químico articulando os três níveis de representação de um fenômeno químico. As concepções alternativas dos estudantes foram utilizadas para a confecção de toda a atividade.

Metodologia

O estudo piloto foi realizado em uma turma de 22 alunos do 2º ano do Ensino Médio do Colégio Particular Marista Aparecida, na cidade de Bento Gonçalves (RS). A média etária destes estudantes é cerca de 16 anos, sendo 10 meninos e 12 meninas.

A coleta de dados foi realizada através de questionários escritos, baseados em três instrumentos, que foram aplicados na seguinte ordem: Pré-Teste, Guia de Simulação e Pós-Teste.

Para a elaboração tanto do pré e pós-testes, como a atividade de simulação, foram levadas em conta concepções alternativas dos estudantes, de acordo com o relatado na Literatura sobre dificuldades no ensino aprendizagem de Equilíbrio Químico.

O pré e o pós-teste consistem de questões abertas e foram elaborados para a verificação dos conhecimentos iniciais e finais durante o período de intervenção, ocorrida por meio da simulação.

No pós-teste, o questionário foi elaborado baseando-se em questões conceituais descritas por Huddle (1998).

O guia de simulação é um roteiro composto por questões e procedimentos para o estudante realizar a simulação e responder as questões propostas por meio de uma metodologia baseada na resolução de problemas. O guia foi desenvolvido baseado na metodologia P.O.E. – Predizer, Observar e comparar (Tao and Gunstone, 1999).

Na etapa de *predição* os estudantes devem predizer o que acontece em uma determinada situação-problema. A *observação* é o passo seguinte da predição. O estudante, seguindo o seu guia, simula no computador a questão correspondente à predição. Nesta fase, pode ocorrer um almejado conflito cognitivo entre a predição e a resposta observada (Hameed *et al.*, 1993). Finalmente, na etapa de *explicação*, o estudante deve explicar discrepâncias entre sua predição e a observação. Deste modo, a anuência dos estudantes em seguir a seqüência dos três itens, é de fundamental importância para o bom desenvolvimento da atividade.

Nos três instrumentos de coleta dos dados foram utilizados questões conceituais. Os resultados da análise são apresentados em uma tabela de acordo com as 4 categorias gerais das concepções alternativas a serem descritas, e os resultados em cada sub-categoria, levando em consideração a análise do pré-teste e a predição do guia de simulação para a análise dos conhecimentos iniciais dos estudantes e, os resultados do pós-teste e da observação e explicação do guia de simulação para a verificação da modificação e/ou aperfeiçoamento dos conceitos detectados nos instrumentos anteriores.

Os estudantes realizaram as 3 atividades no mesmo dia. A duração da resolução das atividades tanto do pré-teste, guia de simulação e pós-teste foi de aproximadamente 40 minutos.

Na atividade de simulação, utilizamos o programa computacional *Lechat*, desenvolvido especialmente para uso educacional. É um programa que, além de ser atraente, robusto e de fácil manuseio, apresenta a melhor articulação entre os níveis representacionais dos programas previamente analisados (Carobin e Serrano, 2003).

Categorias de elaboração dos Instrumentos da Pesquisa

Os questionários foram elaborados de acordo com algumas das principais concepções alternativas apresentadas pelos estudantes, e reportadas por vários pesquisadores (Camacho and Good, 1989; Tsaparlis *et al.*, 1998; Quílez-Pardo and Solaz-Portolés, 1995; Furió and Ortiz, 1983; Bannerjee, 1991; Gussarsky and Gorodetsky, 1990; Hameed *et al.*, 1993;

Johnstone *et al.*, 1977; Bergquist and Heikkinen, 1990; Hackling and Garnett, 1985; Raviolo, 2001). As categorias são:

1. Características do Equilíbrio Químico

Esta categoria é definida pela percepção do Equilíbrio Químico dinâmico e da Reversibilidade das reações. Dentro desta categoria, as concepções mais frequentes entre os estudantes são: “Todos os reagentes se transformam em produtos” e “as reações ocorrem em uma única direção”(Van Driel *et al.*, 1998).

As representações a nível macroscópico e que envolvem mudanças físicas, são as mais compreendidas pelos estudantes (Van Driel *et al.*, 1998). Experimentos observados e realizados pelos estudantes são compreendidos na maioria das vezes, como reações que se completam totalmente (reações de combustão, eletroquímica e decomposições).

O estudante, para entender a natureza do Equilíbrio Químico Dinâmico e a reversibilidade, precisa compreender como as reações químicas acontecem em termos de colisões moleculares, a nível microscópico (Niaz, 1995), e articular esta representação com os gráficos da concentração e da velocidade em função do tempo (nível simbólico). Também, para uma representação concisa do Equilíbrio Químico Dinâmico, o estudante tem que reconhecer a inexistência de alterações perceptíveis no nível macroscópico neste estado. Este tipo de compreensão não é fácil aos estudantes, pois estas colisões originárias de reações químicas são invisíveis e abstratos (Bem-Zvi, Eylon & Silberstein, 1986).

2. Aproximação do Equilíbrio

Alguns estudantes possuem entendimento qualitativo a respeito das concentrações de reagentes e produtos à medida que o Equilíbrio é alcançado. Por outro lado, um grande número não consegue explicar este fato e nem as taxas da reação direta e inversa corretamente, à medida que a reação aproxima-se do estado de Equilíbrio Químico (Hackling and Garnett, 1985).

Na categoria aproximação do Equilíbrio, a concepção alternativa mais comum entre os estudantes, refere-se ao aumento da taxa da reação direta à medida que a reação se processa. Por outro lado, a taxa da reação inversa é concebida pelos estudantes de maneira que ela também aumenta à medida que o tempo avança. Os estudantes não conseguem imaginar separadamente cada uma destas reações, como sendo independentes e ocorrendo no mesmo instante (Hackling and Garnett, 1985). Para estes estudantes, existe apenas uma reação ocorrendo, que é a reação de formação dos produtos. Este fato reflete o que foi citado anteriormente, ou seja, o estudante dificilmente irá imaginar o que acontece com a taxa da reação direta e inversa se ele não compreender os aspectos da reversibilidade e, principalmente aspectos à nível microscópico.

3. Compreensão da Representação Microscópica de Equilíbrio Químico

Conforme Bem-Zvi *et al.*, 1986 (apud Wu *et al.*, 2001), muitos estudantes são incapazes de interpretar representações à nível microscópico e simbólico, porque muitos destes estudantes estão confinados nas experiências perceptíveis do seu cotidiano (nível macroscópico). Segundo Wu *et al.*, 2001, na maioria dos casos, estudantes contam com modelos mentais intuitivos para explicar ou descrever representações em nível microscópico e simbólico. Este autor salienta que muitos dos estudantes visualizam fórmulas químicas (estruturas simbólicas) como a representação de uma única partícula, ao invés de imaginar um conjunto de átomos.

Algumas das concepções alternativas apresentadas pelos estudantes, no nível microscópico, mostram que além de não visualizarem reações químicas em equilíbrio como processo dinâmico no qual moléculas reagem para produzir novas moléculas, imaginam

sistemas compartimentalizados (Furió and Ortiz 1983; Johnstone *et al.*, 1977; Gorodetsky and Gussarsky, 1986), sistemas abertos para os gases e não conservam o número inicial de moléculas (Solomonidou and Stavridou, 2001).

4. Alteração da Condição do Equilíbrio Químico

De acordo com Quílez-Pardo and Solaz-Portolés (1995), métodos inapropriados desenvolvidos durante a aprendizagem de resolução de problemas em equilíbrio químico, é uma das causas para tantas dificuldades encontradas nos estudantes, principalmente para situações de aplicação do princípio de Le Chatelier.

O estudante se não apresentar conhecimento suficiente sobre os princípios de equilíbrio químico em geral, dificilmente conseguirá transferir ou até mesmo aplicar esses conhecimentos em novas situações (Quílez-Pardo and Solaz-Portolés, 1995).

Em atividades que envolvam o Princípio de Le Chatelier, a constante de Equilíbrio é raramente utilizada para prever uma mudança do equilíbrio e, provavelmente alguns dos estudantes precisam ser diretamente informados da sua utilização (Quílez-Pardo and Solaz-Portolés, 1995).

Análise dos Dados

As respostas dos estudantes foram analisados qualitativamente e classificados de acordo com os seguintes níveis de compreensão (Jimoyiannis and Komis, 2001):

- A. Compreensão Total:** As respostas demonstram entendimento conceitual claro, sem concepções alternativas e perfil científico;
- B. Compreensão com elementos errôneos:** Possui marcadamente um perfil científico, mas com o aparecimento de concepções alternativas.
- C. Alguma Compreensão:** Marcadamente com o uso de concepções alternativas, que prejudicam a compreensão da situação-problema.
- D. Nenhuma Compreensão:** Pobre descrição de fenômeno.

Resultados e discussões

Os resultados da análise dos instrumentos de coleta dos dados estão expressos na tabela seguinte, de acordo com a proposta em níveis de compreensão (A,B,C,D) citadas anteriormente.

CATEGORIA 1 - CARACTERÍSTICAS DO EQUILÍBRIO QUÍMICO									
Sub-Categoria: Equilíbrio Químico Dinâmico					Sub-Categoria: Reversibilidade das Reações				
Nível de Compreensão	I	II	III	IV	Nível de Compreensão	I	II	III	IV
Pré-atividade	4	1	5	12	Pré-atividade	5	8	5	4
Pós-atividade	8	3	6	5	Pós-atividade	6	8	6	2
Categoria 2: Aproximação do Equilíbrio: Sub-Categoria: Taxa de Reação									
Pré-atividade	3	6	6	7	Pós-atividade	8	10	3	1
Categoria 3: Representação Microscópica de Equilíbrio Químico									
Pré-atividade	1	2	10	9	Pós-atividade	0	6	4	12
Categoria 4: Alteração da Condição do Equilíbrio Químico pela Temperatura									
Sub-Categoria: Aumento de Temperatura em reação Endotérmica									
Pré-atividade	1	10	0	11	Pós-atividade	8	0	4	10

Categoria 1: Características do Equilíbrio Químico

A categoria características do Equilíbrio Químico está subdividida na tabela em 2 subcategorias: Equilíbrio Químico Dinâmico e Reversibilidade das Reações.

Na subcategoria Equilíbrio Químico Dinâmico do pré-teste, fornecemos a reação química $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$, onde H_2 é incolor, I_2 é púrpura e HI é incolor e, informamos que à medida que o tempo avança a intensidade da cor púrpura do iodo vai diminuindo, até o momento em que a intensidade da coloração púrpura não diminui mais com o passar do tempo. Perguntamos, o que esta diminuição da cor e a sua posterior estabilização em uma coloração púrpura definida indica. Tipicamente, estudantes nesta categoria devem descrever corretamente o fenômeno químico nos três níveis de representação do fenômeno. Nesta primeira pergunta, respostas típicas são semelhantes ao do estudante LO, que descreve: “Enquanto a coloração diminui, a velocidade de consumo dos reagentes é maior do que a de produção dos produtos e quando a coloração estabiliza, a reação chegou ao estado de equilíbrio”. Esta descrição mostra que o estudante LO compreende o equilíbrio químico dinâmico nos seus aspectos simbólicos e macroscópicos. Complementando, uma segunda pergunta dentro desta sub-categoria, referia-se a uma questão objetiva em que o estudante deveria optar por um dos diálogos estabelecidos entre dois estudantes, A e B. Os diálogos são: Estudante A: A reação pára após atingir o equilíbrio, quando a cor fica púrpura clara e o estudante B: A reação não pára, ela continua se processando, mesmo após aparentemente ter parado ao permanecer na mesma tonalidade. O estudante LO, nesta questão concorda com a alternativa correta. Demonstra assim, possuir compreensão total.

18,2% (N=4) dos estudantes, apresentam compreensão total e entendimento conceitual nas questões.

4,5% (N=1) dos estudantes, apresentaram compreensão com elementos errôneos. Este estudante descreve: “Ao misturarmos H_2 e I_2 em um recipiente de vidro, nós enxergamos o andamento da reação direta ao constatarmos a diminuição gradativa da cor púrpura do I_2 ”. Adicionalmente, este estudante ao optar por um dos diálogos entre os estudantes A e B, concorda com a alternativa correta. Este estudante entendeu o conceito de equilíbrio dinâmico, descrevendo macroscopicamente o fenômeno. No entanto, este estudante não sente a necessidade em mencionar a chegada ao estado de equilíbrio.

22,7% (N=5) dos estudantes mostraram alguma compreensão nesta sub-categoria. Todos os estudantes ao optarem por uma das alternativas escolhem a B, no entanto consideram que alterações macroscópicas observadas são devidas a agentes externos (em geral físicos). Os agentes externos a que se referem são influências como temperatura, pressão e concentração (Van Driel *et al.*, 1998). Estes estudantes ao responderem sobre o que a diminuição da cor e a sua posterior estabilização em uma coloração púrpura definida indicam, afirmam que a diminuição da cor púrpura indica “deslocamento do equilíbrio” ou “um aumento na temperatura do sistema” ou porque se trata de uma “reação endotérmica”. Estas respostas indicam o predomínio de CA's na explicação, pois o equilíbrio ocorre devido a fatores externos.

54,5% (N=12) dos estudantes não apresentam nenhuma compreensão. Respostas típicas deste nível de compreensão são descritas por 2 dos estudantes (AC e TH):

AC: “A cor do composto se altera enquanto a reação ocorre. Quando ela terminou de absorver calor e se estabiliza a cor pára de mudar”.

TH: “O iodo vai perdendo a sua cor até ser consumido totalmente, o que indica que o reagente estava em excesso”.

Ao perguntarmos sobre o conceito de equilíbrio químico, todos os estudantes neste nível de compreensão concordam com a afirmação de que “a reação pára de se processar” ao atingir o equilíbrio. Comparando com as respostas anteriores, verificamos que a estabilização, observada na primeira resposta do estudante, refere-se à idéia de uma reação estática, sem movimento. As respostas destes estudantes estão de acordo com Van Driel, 1998 (apud Anderson, 1990), que

afirma que alguns estudantes explicam fenômenos químicos em termos de mudanças físicas (mudança de estado físico), além de considerar a matéria (no nível representacional sensorio) “... estática (sem movimento inerente) e contínua (sem ocorrência de transformações)...”.

No pós-teste, verificamos que após a simulação, alguns estudantes melhoraram seus conhecimentos iniciais. Os 4 estudantes que apresentaram compreensão total no pré-teste, mantiveram-se nesta categoria. 2 estudantes que não apresentaram nenhuma compreensão, 1 estudante com alguma compreensão e 1 estudante com compreensão com elementos errôneos no pré-teste, enquadraram-se no pós-teste na categoria compreensão total.

2 estudantes, AV e AC, da categoria nenhuma compreensão no pré-teste, aceitam a idéia de equilíbrio químico no pós-teste, mas tratam os reagentes e os produtos compartimentalizados, passando a enquadrar-se na categoria alguma compreensão. Esta compartimentalização não reflete uma concepção alternativa advinda de uma incorreta articulação entre os níveis de representação simbólicos e microscópicos (Johnstone *et al.*, 1977; Gorodetsky and Gussarsky, 1990; Solomonidou and Stavridou, 2001), visto que estes estudantes representam os produtos se concentrando no centro e os reagentes ao redor do círculo. Após a utilização da simulação computacional, estes estudantes deixam de utilizar a compartimentalização no desenho. Provavelmente, o programa Lechat, ajudou estas estudantes a compreender que as moléculas não ficam agrupadas por reagentes ou produtos, mas coexistindo aleatoriamente em um mesmo sistema.

Na sub-categoria, reversibilidade de uma reação química, 22,7% (N=5) dos estudantes apresentou compreensão total. Estes estudantes apresentaram entendimento científico adequado ao processo dinâmico e reversível de uma reação, identificando todas as espécies envolvidas no equilíbrio e salientando que a produção de reagentes e produtos no equilíbrio ocorre simultaneamente. Um destes estudantes descreve “No equilíbrio, reagentes transformam-se em produtos e produtos formam os reagentes ao mesmo tempo”. No pós-teste, o estudante JM aperfeiçoou seus conhecimentos em relação à identificação correta das substâncias no equilíbrio, inclusive mantendo uma representação atomística correta.

36,4% (N=8) dos estudantes apresentaram compreensão com elementos errôneos. Estes estudantes acreditam na reversibilidade, embora parcialmente estática. Os estudantes representam através de desenhos a reversibilidade, evidenciando que existe um núcleo estático, constituindo-se somente de produtos e, na camada mais externa a esses produtos, movimento entre as moléculas de reagentes. Talvez estes estudantes estejam utilizando uma idéia análoga à idéia de solubilidade em cristais – de cloreto de sódio, por exemplo. Além disso, acreditam que algumas moléculas movimentam-se devido aos fatores externos, como pressão e temperatura.

No pós-teste, o estudante VA acreditava na parcialidade de uma reação reversível e no equilíbrio químico dinâmico, demonstrando claramente um perfil de alguma compreensão nestes dois itens. O estudante representou apenas moléculas de produtos e não conservou o número de moléculas.

22,7% (N=5) dos estudantes apresentaram alguma compreensão. Estes estudantes não acreditam no processo dinâmico do equilíbrio, embora desenhem moléculas de reagentes e produtos no equilíbrio, utilizando elementos atomísticos sem o perfil científico e sem a identificação correta das espécies envolvidas.

18,2% (N=4) dos estudantes enquadraram-se na categoria nenhuma compreensão. Os estudantes acreditam apenas no processo direto de uma reação química, sem evidenciar o processo dinâmico e nem a reversibilidade. Os estudantes JO e LU no pós-teste passaram para o nível de alguma compreensão, conservando o número de moléculas e identificando-as, embora não utilizaram uma representação atomística clara, acreditando apenas no sentido direto da reação.

No pós-teste, verificamos que os 5 estudantes da categoria compreensão total, não modificaram seus conceitos iniciais sobre o processo dinâmico e reversível de uma reação. A

estudante JM, melhorou seu conceito passando da categoria alguma compreensão para compreensão total.

9,1% (N=2) dos estudantes não melhoraram seus conhecimentos permanecendo na categoria nenhuma compreensão. Os outros dois estudantes desta categoria passaram para as categorias compreensão com elementos errôneos e alguma compreensão.

Categoria 2: Aproximação do Equilíbrio

O item que avaliamos para a análise da compreensão dos estudantes refere-se: “A taxa de reação direta diminui enquanto a taxa da reação inversa aumenta em função do tempo”.

Pedimos aos estudantes para desenharem o gráfico das concentrações em função do tempo antes e até atingir o equilíbrio. Fornecemos uma tabela constando os valores das concentrações dos reagentes (H_2 e I_2) e produtos (HI) para antes e depois de atingir o equilíbrio químico.

Os resultados expressos na tabela indicam que o índice de estudantes que apresentaram compreensão total no pré-teste foi 13,6% (N=3). Estes estudantes desenharam corretamente os gráficos da taxa de reação para os reagentes e para os produtos, demonstrando entendimento nas velocidades das reações e nas concentrações, que permanecem constantes após o equilíbrio ter sido atingido. Esta compreensão simbólica permitiu aos estudantes articular o nível simbólico, ao desenharem corretamente o que acontece com as concentrações. No pós-teste, apenas um destes estudantes passou para o nível de compreensão com elementos errôneos. O estudante não desenhando corretamente um dos gráficos dos reagentes, mantendo a concentração constante. O gráfico da figura 1 indica o perfil do estudante neste nível de compreensão.

27,3% (N=6) dos estudantes apresentaram compreensão com elementos errôneos. Os estudantes apresentam conhecimento sobre as taxas de reação e, compreendem que após o equilíbrio ter sido atingido, as concentrações se mantêm constantes. No entanto, os gráficos são desenhados linearmente, em duas etapas e apresentam um perfil de que o processo desde o início da reação até atingir o equilíbrio químico não é diferenciável, como se os processos fossem separados. Primeiramente, os estudantes desenharam o que acontece com as taxas de reação e depois indicam que a concentração dos reagentes e dos produtos se mantêm constantes. Graficamente, a melhor representação neste nível de compreensão é apresentada pela estudante AC, na figura 2.

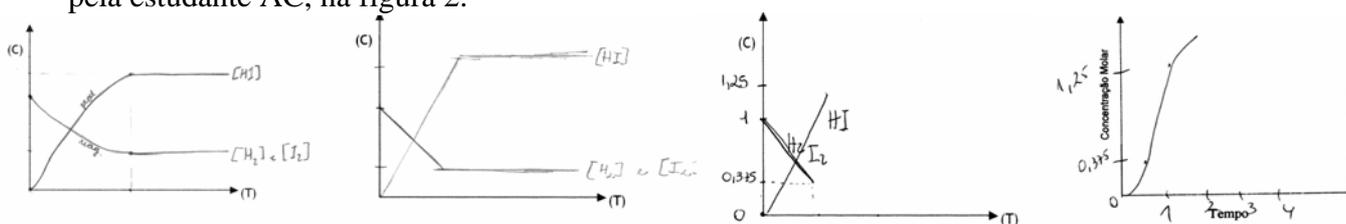


FIGURA 1, 2, 3 E 4: REPRESENTAÇÕES SIMBÓLICA NOS NÍVEIS DE COMPREENSÃO TOTAL, COM ELEMENTOS ERRÔNEOS, ALGUMA COMPREENSÃO, NENHUMA COMPREENSÃO, RESPECTIVAMENTE, DA ESQUERDA PARA A DIREITA

No pós-teste, 3 destes estudantes permaneceram neste nível de compreensão. 2 estudantes aperfeiçoaram seus conhecimentos passando para a categoria compreensão total e 1 estudante não demonstrou alguma compreensão. Esta estudante, embora tenha desenhado as taxas de reação diminuindo para os reagentes e aumentando para os produtos, continua apresentando gráfico linear e, não identifica o que acontece com as concentrações dos reagentes e dos produtos.

27,3% (N=6) dos estudantes apresentaram alguma compreensão. Os estudantes reconhecem que a taxa de reação dos reagentes diminui e a dos produtos aumenta, mas não

representam o equilíbrio químico, além de não identificar o que acontece com as concentrações dos reagentes e dos produtos. Além disso, os estudantes desenham graficamente retas lineares e não curvas, que são típicos dos gráficos de equilíbrio químico. A melhor representação deste nível é apresentada pelo estudante FE, na figura 3.

No pós-teste, verificamos que 3 estudantes se mantêm neste nível de compreensão. 3 estudantes passaram para o nível de compreensão com elementos errôneos, aperfeiçoando a compreensão sobre o que acontece com as concentrações e as taxas de reação.

No pré-teste, 31,8% (N=7) dos estudantes não apresentaram nenhuma compreensão. Neste nível, o estudante não compreende as taxas de reação e nem reconhece o estado de equilíbrio químico. Um dos estudantes demonstra graficamente que, apenas a taxa de reação dos reagentes aumenta à medida que o tempo avança, sem demonstrar que, após um certo tempo, as concentrações se mantêm constantes (Figura 4). Além disso, este estudante não demonstrou graficamente, o que acontece com a taxa de reação dos produtos.

No pós-teste, verificamos que dos 7 estudantes, nenhum deles permaneceu no nível de nenhuma compreensão. 4 destes estudantes apresentaram compreensão total e 3 estudantes compreensão com elementos errôneos.

Categoria 3: Representação Microscópica de Equilíbrio Químico

No pré-teste, pedimos aos estudantes para desenharem o comportamento dos átomos e/ou moléculas da reação $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$, quando o frasco contendo estas substâncias gasosas na temperatura de $458^{\circ}C$, fossem colocados em um ambiente mais quente, na temperatura de $600^{\circ}C$.

No pré-teste, apenas 4,5% (N=1) dos estudantes demonstrou compreensão total, apresentando uma representação microscópica adequada e conectada com o conceito de equilíbrio. Neste nível de compreensão, o estudante deve: Desenhar as moléculas como agrupamentos de átomos e identifica-las corretamente, a cinética das moléculas bem representada, conservação do número de moléculas em sistemas fechados e os raios atômicos de acordo com os elementos utilizados (Van Driel, 2000). Após a simulação, este estudante abandona alguns elementos da representação microscópica e portanto se enquadra no nível de compreensão B.

9,1% (N=2) dos estudantes apresentaram compreensão com elementos errôneos no pré-teste. Os estudantes identificaram moléculas de reagentes e produtos no equilíbrio, apresentaram o comportamento cinético e a conservação do número de moléculas. Neste nível de compreensão, os estudantes não necessariamente utilizaram uma representação atomística clara, evidenciando os raios atômicos dos elementos utilizados. No pós-teste, estes estudantes mantiveram as mesmas características.

45,45% (N=10) dos estudantes apresentaram alguma compreensão. Os desenhos demonstram existir elementos atomísticos e moléculas como agrupamentos de átomos, no entanto, apresentam um perfil que prejudicam a descrição da situação problema.

No pós-teste, 4 estudantes mantiveram as mesmas características do pré-teste. 2 estudantes passaram para o nível de compreensão com elementos errôneos, aperfeiçoando seus conceitos de cinética molecular e conservação do número de moléculas. Os outros 4 estudantes passaram para o nível de nenhuma compreensão.

40,9% (N=9) dos estudantes não demonstraram nenhuma compreensão. Os desenhos não apresentam nenhuma das características citadas anteriormente, como cinética-molecular, conservação do número de moléculas, raios atômicos e não identificou as espécies presentes no sistema desenhado.

No pós-teste, apenas a estudante DA, passou para o nível de compreensão com elementos errôneos, apresentando todas as características do nível de compreensão. Os demais estudantes permaneceram nesta categoria.

Na categoria alguma compreensão do pré-teste, verificamos que 8 dos estudantes representaram simbolicamente o gráfico das variações das concentrações, indicando que um dos reagentes (Cl_2) é consumido quase que totalmente, enquanto que os demais gráficos (H_2 e HCl) estão desenhados corretamente. A nível microscópico, 5 destes estudantes desenharam apenas moléculas de produtos e não conservaram o mesmo número de átomos, confirmando a representação gráfica de que os reagentes são praticamente consumidos, havendo apenas formação de produtos. Este resultado deve ter sido influenciado pelo uso da simulação. A reação $2\text{HCl}_{(g)} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(g)} + \text{H}_{2(g)}$, selecionada para a realização da simulação inicia com concentrações de 0M para HCl (produto); 0,5M para Cl_2 (reagente) e 1M para H_2 (reagente). Ao rodar o programa de simulação, verifica-se que ao atingir o equilíbrio químico, a concentração de HCl é de 1M, Cl_2 é de 0M e H_2 é de 0,5M, indicando que realmente um dos reagentes é consumido pois esta reação é praticamente não-reversível. Muitos estudantes evidenciaram este fato e, inclusive desenharam apenas moléculas de produto (HCl). Evidenciando uma articulação entre o nível microscópico-simbólico, visto que o Lechat representa ambos os níveis. Este problema não esperado mostra que alguns estudantes podem não utilizar corretamente o guia, visto que um bom estudante (LO), previu incorretamente uma situação de Equilíbrio e corrigiu-se após a observação. Para uma resolução correta desta questão, os estudantes, deveriam utilizar a idéia de reagente em excesso e limitante.

Categoria 4: Alteração da Condição do Equilíbrio Químico pela Temperatura

Na tabela, a categoria *Alteração da Condição do Equilíbrio Químico pela Temperatura* reproduz a análise dos resultados de questões conceituais que envolvem a aplicação do Princípio de Le Chatelier, quando o sistema é perturbado por um aumento da temperatura. A primeira questão, no pré-teste pedia aos estudantes para predizer o que aconteceria com um frasco, contendo os gases H_2 , I_2 e HI , quando este fosse colocado em ambiente mais quente. O pós-teste fornece os dados de uma questão conceitual envolvendo a aplicação do Princípio de Le Chatelier em aspectos microscópicos. A questão baseava-se em um sistema em equilíbrio químico desenhado por moléculas. 5 alternativas foram apresentadas também desenhadas por moléculas e os estudantes poderiam ou não utilizar a constante de equilíbrio para a resolução.

No pré-teste, 4,5% (N=1) dos estudantes apresentaram compreensão total. Neste nível, o estudante identificou e aplicou corretamente o princípio de Le Chatelier, articulando as informações simbólicas e descrevendo macroscopicamente a intensidade da cor após atingir o equilíbrio.

No pós-teste, 36,4% (N=8) dos estudantes apresentaram compreensão total. Estes estudantes aplicaram corretamente o Princípio de Le Chatelier na questão conceitual e, através da proporção comparando o sistema em equilíbrio com as alternativas determinaram a alternativa certa. Na justificativa desta questão um estudante descreve que “ao aumentar a temperatura do sistema, deslocamos o equilíbrio no sentido endotérmico, diminuindo a quantidade de moléculas de produtos e aumentando as moléculas de reagentes”. Os demais estudantes utilizaram justificativa mais simples, como “aumentando a temperatura, o equilíbrio se desloca para o sentido endotérmico” e também utilizaram-se de proporções para a determinação da alternativa certa. A proporção utilizada para a resolução desta questão indica que, os estudantes apresentam o conceito de que em um sistema fechado o número de moléculas deve ser o mesmo. Nenhum destes estudantes utilizou a constante de equilíbrio para a resolução.

45,45% dos estudantes apresentaram compreensão com elementos errôneos. Estes estudantes não identificaram a situação proposta no pré-teste como deslocamento do equilíbrio, mas responderam corretamente a questão macroscopicamente, mesmo que derivada de regras de memorização.

No nível de alguma compreensão, verificamos no pós-teste que 18,2% (N=4) dos estudantes, identificaram o uso do Princípio de Le Chatelier, mas não aplicaram corretamente.

No pré-teste, verificamos que 50% (N=11) dos estudantes estão na categoria nenhuma compreensão e não identificaram a questão como aplicação do Princípio de Le Chatelier. Um destes estudantes respondeu que “em ambiente mais quente, a intensidade da cor mudaria mais rapidamente” (sem identificar como ficaria a coloração) e em “ambiente mais frio, levaria mais tempo para ser consumida”. O estudante não respondeu corretamente a questão conforme o Princípio de Le Chatelier, apenas justificou sua resposta baseando-se em considerações sobre a energia cinética das moléculas quando a temperatura é maior ou menor.

No pós-teste, 45,45% dos estão permaneceram nesta categoria. 2 estudantes ressaltam em seu pós-teste que, “a temperatura só altera”, ou seja, não irá ocorrer nenhuma mudança em relação ao estado de equilíbrio. Outros estudantes, apenas justificaram a resposta comparando a temperatura com agitação molecular, afirmando que “ao aumentar a temperatura as moléculas se misturam mais”.

Adicionalmente, verificamos uma boa compreensão microscópica em 6 estudantes, RO, ED, DA, LO, MA, JM. Estes estudantes realizaram corretamente a atividade da categoria Representação Microscópica de Equilíbrio Químico e a atividade do pós-teste sobre o Princípio de Le Chatelier, que envolviam aspectos conceituais e microscópicos.

Conclusão

Um breve questionário aplicado no início da atividade do pré-teste indicou que, todos os estudantes possuem acesso ao computador e à internet, porém, nenhum deles conhecia e nem utilizou um programa de simulação destinado à área de química. Os estudantes demonstraram interesse em conhecer o programa computacional *Lechat*, de modo que não se dispersaram durante a atividade e nem perderam a motivação. A técnica P.O.E. apresentou uma curva de aprendizagem bastante íngreme, e rapidamente os estudantes seguiam o guia sem dificuldades.

Uma avaliação final referente à atividade realizada e ao uso de simulações durante a aprendizagem indicou que, os estudantes gostam e acham importante o uso de simulações durante as aulas. Muitos deles acreditam que, o feedback acontece mais rápido, pois conseguem com a ajuda de uma simulação, perceber fenômenos abstratos que macroscopicamente não é possível visualizar. Sugerem inclusive, que os professores utilizem com maior frequência este tipo de metodologia utilizando computadores.

A atividade de simulação, com o uso do programa computacional *Lechat*, apresentou bons resultados no nível de representação simbólico, mesmo porque este é o nível de representação mais priorizado no programa. O nível microscópico, favoreceu o entendimento das estudantes AC e AV, no que diz respeito à compartimentalização de reagentes e produtos, embora a noção apresentada pelas estudantes não se enquadra como concepção alternativa detectada por Johnstone, 1977; Gorodetsky and Gussarsky, 1987; Solomonidou and Stavridou, 2001.

A simulação em nível microscópico também apresentou fatores desfavoráveis que levaram um estudante a incorporar claramente elementos da visualização microscópica do programa, inclusive e, principalmente, negativos. Dessa forma, a visualização microscópica correta é importante para que novas CA's não sejam induzidas em estudantes ao utilizar simulações.

Na categoria Alteração da condição do Equilíbrio verificamos que, os resultados não foram satisfatórios. Estes resultados negativos em questões conceituais é, apontado por Quílez-Pardo and Solaz Portolés (1995) como uma causa que têm origem na deficiência dos livros textos e à metodologia utilizada em sala de aula, onde se focaliza apenas os aspectos memorísticos e a pura aplicação deste Princípio. A simulação embora apresente parâmetros para a aplicação do

Princípio de Le Chatelier, não foi suficiente para os estudantes resolverem conceitualmente as questões propostas. No pós-teste, nenhum dos estudantes percebeu que a constante de equilíbrio, como sendo a relação entre a quantidade de produtos e reagentes, poderia ser utilizada para a resolução da questão. Assim, uma boa compreensão microscópica foi fundamental para a realização da atividade.

A simulação do programa computacional Lechat não é eficaz para o entendimento a nível microscópico. Os estudantes, que apresentaram a concepção alternativa sobre a conservação do número de moléculas, dificilmente poderiam contar todos os pontos (moléculas) que aparecem na tela do computador para verificar que o número de moléculas é conservado. O inconveniente é que são muitos pontos e pequenos demais, tornando difícil e praticamente impossível a contagem.

Referências Bibliográficas:

- BANERJEE, A.C. Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. **International Journal of science education**, vol13(4), 487-497, 1991.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. & SILBERSTEIN, J. Is an atom of copper malleable? **Journal of chemical education**. Vol 63, pp. 64-66, 1986.
- BERGQUIST, W., HEIKKINEN, H. Student ideas regarding chemical equilibrium. **Journal of Chemical Education**. Vol 67, pp. 1000-1003, 1990. science education. **Journal of research in science teaching**, vol 15, pp. 109-114, 1978.
- CAMACHO, M., GOOD, R. Problem solving and chemical equilibrium: Successful versus unsuccessful performance. **Journal of Research in Science Teaching**, Vol 26(3), pp. 251-272, 1989.
- CAROBIN, C.; SERRANO, A. Análise de Programas de Simulação para o Ensino de Equilíbrio Químico. A ser submetido para a Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências.
- FURIO C. J., ORTIZ, E. Persistência de errores conceptuales en el estudio del Equilibrio Químico. **Enseñanza de Las Ciencias**, pp. 15-20, 1983.
- GABEL, D.; Use of the particule nature of matter in developing conceptual understanding. **Journal of Chemical Education**, 70(3), 1993.
- GORODETSKY, M.; GUSSARSKY, E. Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. **European Journal of Science Education**. Vol 8(4), pp. 427-441, 1986.
- GUSSARSKY, E.; GORODETSKY, M. On the concept “chemical equilibrium”: The Associative Framework. **Journal of research in science teaching**. Vol 27(3), pp 197-204, 1990.
- HACKLING, M. W., GARNETT, P. J. Misconceptions of Chemical Equilibrium. **European Journal of Science Education**. Vol 7(2), pp. 205-214, 1985.
- HAMEED, H., HACKLING, M. W., GARNETT, P. J. Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using a CAI strategy. **International Journal of Science Education**. Vol 15(2), pp. 221-230, 1993.
- HUDDLE, B. “Conceptual Questions” on LeChâtelier’s Principle. **Journal of Chemical Education**, 75(9), 1998.

JIMOYIANNIS, A.; KOMIS, V.. Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on student's understanding of trajectory motion. **Computers & Education**, vol 36 , pp. 183-204, 2001.

JOHNSTONE, A.H., MACDONALD, J.J.; WEBB, G. Chemical Equilibrium and its conceptual difficulties. **Education in Chemistry**. 14, 169-171, 1977.

KEIG, P.F., RUBBA, P.A. Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. **Journal of Research in Science Teaching**. Vol 30(8), pp. 883-903, 1993.

KOZMA, R. B., RUSSEL, J. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**. Vol 34(9), pp. 949-968, 1997.

MACHADO, A .H.; ARAGÃO, R.M.R. Como os estudantes concebem o estado de Equilíbrio Químico. **Química Nova na Escola**, n 4, 1996.

MASKILL, R.; CACHAPUZ, A.F.C. Learning about the chemistry topic of equilibrium: The use of word association tests to detect developing conceptualization. **International Journal of science Education**. Vol 11, pp. 57-69, 1989.

NIJAZ, M. Relationship between student performance on conceptual and computational problem of chemical equilibrium. **International Journal of Science Education**. Vol 17(3), pp. 343-355, 1995.

NICOLL, G. A Qualitative Investigation of Undergraduate Chemistry Student's Macroscopic Interpretations of the Submicroscopic Structure of Molecules. **Journal of Chemical Education**, vol 80(2), February, 2003.

NURRENBERN, S., PICKERING, M. Concept learning versus problem solving: is there a difference? **Journal Chemical Educator**. Vol 64(6), pp. 508-510, 1987.

QUÍLEZ-PARDO, J., SANJOSÉ LÓPEZ, V. Errores Conceptuales en el estudio del Equilibrio Químico: Nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación del Principio de Le Chatelier. **Enseñanza de Las Ciencias**, vol 13(1), pp. 72-80, 1995.

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**. Vol 32(9), pp. 939-957, 1995.

RAVIOLO, A.; **Assessing students' conceptual understanding of Solubility Equilibrium**. Journal of Chemical Education. 78(5), 2001.

RAVIOLO, A., BASCHINI, M., LOMBARDI, B., GIAVENO, A. Son dinamicos los equilibrios para alumnos universitarios? **Trabajo presentado en las terceras Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Química**. Vaquerías. Córdoba. Argentina. 1997.

RAVIOLO, A., BAUMGARTNER, E., LASTRES, L., TORRES, N. Logros y dificultades de alumnos universitarios en equilibrio químico: uso de un test con proposiciones. **Educación Química**, vol 12(1), pp. 18-26, 2000.

SANGER, M.J.; PHELPS, A.J.; FIENHOLD, J. Using a Computer Animation to Improve Student's Conceptual Understanding of a Can-Crushing Demonstration. **Journal Chemical Education**, Vol 77(11), 2000.

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**, vol 6(1), pp. 5-27, 2001.

TAO, P.K.; GUNSTONE, R.F. The Process of Conceptual Change in force and Motion during Computer-Supported Physics Instruction. **Journal of Research in Science Teaching**. Vol 36 (7), pp. 859-882, 1999.

TSAPARLIS, G., KOUSATHANA, M., NIAZ, M. Molecular- Equilibrium Problems: Manipulation of Logical Structure and of M-Demand, and Their Effect on Student's Performance. **Science Education**. Vol 82, pp. 437-454, 1998.

VALENTE, J.A. Diferentes usos do Computador. <http://www.proinfo.gov.br>.

VAN DRIEL, J. H. Student's Corpuscular Conceptions in the Context of Chemical Equilibrium and Chemical Kinetics. **Chemistry Education: Research and practice in Europe**. Vol 3 (2), pp. 201-213, 2002.

VAN DRIEL, J. H. Developing secondary student's conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. **International Journal of Science Education**. Vol 20(4), pp. 379-392, 1998.

WU, H.K.; KRAJCIK, J.S.; SOLOWAY, E. Promoting Understanding of Chemical Representations: Student's Use of a Visualization Tool in the Classroom. **Journal of Research in Science Teaching**. Vol 38 (7), pp. 821-842, 2001.