

O que aprendem os ingressantes de um curso de graduação em química a respeito do equilíbrio químico?

What do chemistry novice students learn about chemical equilibrium?

Juliana do Nascimento Gomes, Flavio Antonio Maximiano*

Universidade de São Paulo - Instituto de Química - Departamento de Química Fundamental.

**quimica.juliana@usp.br*

Resumo

O principal interesse deste trabalho é refletir sobre a aprendizagem de conceitos básicos, relacionados ao tema equilíbrio químico a partir da análise das idéias prévias de estudantes de graduação, e da alteração destas idéias após cursarem disciplina Química Geral II oferecida no IQUSP para o curso noturno. A análise das avaliações permitiu concluir que, após as aulas referentes ao tema, os alunos passaram a caracterizar corretamente o equilíbrio químico nos níveis macroscópicos e microscópicos, e a comparar o coeficiente de reação com a constante de equilíbrio para fazer previsões de uma mistura reacional. Entretanto, alguns alunos ainda não demonstram uma boa compreensão do significado e das possíveis aplicações da constante de equilíbrio, definindo-a apenas a partir da descrição da sua fórmula matemática. Também não relacionam a constante de equilíbrio químico com a temperatura, aplicando apenas o Princípio de Le Chatelier para prever as alterações no sistema em equilíbrio químico.

Palavras-chave: concepções alternativas, ensino superior, equilíbrio químico.

Abstract

This work intent to reflect about the learning of the chemical equilibrium basic concepts. For this purpose, we have analyzed the conceptions of novice undergraduate students and their changes after these students have studied chemical equilibrium in the discipline "General Chemistry II", that's offered at IQUSP. The analysis showed that the students could learn better about the theme, characterizing correctly a chemical equilibrium system in the microscopic and macroscopic levels, and comparing the reaction coefficient with equilibrium constant to make prevision related to the reaction mixture. However, some student not showed a well understanding about the definition of K and its possible applications. They didn't make any relationship between K with temperature, and they apply only the Le Chatelier Principle to predict a change in a system in chemical equilibrium.

Key words: chemistry equilibrium, misconception, high school.

Introdução

Ao passar por um curso de graduação em química o estudante é apresentado formalmente a uma série de conceitos básicos, que perpassam por praticamente todas as disciplinas do curso e formam uma estrutura fundamental para se entender e fazer química. O tema equilíbrio químico é um conceito básico para o entendimento de outros tópicos da química como, o

comportamento ácido-base, reações de óxido-redução e solubilidade, sendo trabalhado ao longo de um curso de Química em diferentes disciplinas. No entanto, há um consenso em dizer que, dentre os conceitos químicos fundamentais, o equilíbrio químico é um dos tópicos mais difíceis e exigentes para o aprendizado do aluno, do ensino médio ou de cursos introdutórios de química no ensino superior. De forma geral, a abordagem deste é demasiadamente quantitativa e fragmentada, com a utilização de regras para resolução de algoritmos, o que pode impedir a aprendizagem de conceitos, e ser uma fonte de erro conceitual refletindo na memorização de fórmulas que conduzem a uma aprendizagem mecânica e não significativa do conceito (QUÍLEZ-PARDO, 2000).

Moncaleano et. al. (2003) destacam que, é baixa a porcentagem de alunos que conseguem descrever quais são as características macroscópicas de um sistema em equilíbrio químico. Para Souza e Cardoso (2008), é preciso estimular a prática do “pensar quimicamente”, dada à importância do raciocínio abstrato (em nível microscópico), necessários para a construção e manipulação deste conceito. Quanto à constante de equilíbrio, Machado e Aragão (1996) mostram que, os estudantes, em geral, não relacionam o seu valor numérico ao que à mesma permite representar em termos da concentração de reagentes e produtos, ou seja, em outras palavras, em termos da extensão da reação. Há também que se levar em conta que um dos aspectos mais relevantes do estudo de equilíbrio químico, é a consideração dos fatores relacionados com as alterações que podem sofrer um sistema em equilíbrio químico devido a mudanças das propriedades que o definem. Estudos indicam que há uma generalização da aplicação do princípio de Le Chatelier, sem considerar suas limitações, sendo o ensino deste aspecto pautado em um tratamento superficial, sem um controle rigoroso de variáveis e com a aplicação de estratégias que não questionam sua validade (QUÍLEZ-PARDO E SANJOSÉ-LOPEZ, 1995; CANZIAN E MAXIMIANO, 2010).

Devido a importância central do conceito de equilíbrio químico, objetiva-se aqui investigar o aprendizado de aspectos básicos relacionados ao tema, durante sua primeira abordagem em uma disciplina de um curso de graduação em Química. Estes aspectos básicos compreendem a caracterização do sistema em equilíbrio químico no nível macroscópico e microscópico, a análise de um sistema que ainda não atingiu o equilíbrio químico, a definição e significado do valor numérico da constante de equilíbrio e as possíveis alterações sofridas por um sistema em equilíbrio químico. Pretende-se assim, por meio de duas avaliações dissertativas, verificar quais são as concepções dos alunos sobre estes aspectos antes de iniciar a discussão sobre o tema e como elas se modificam após as aulas referentes ao mesmo. As respostas obtidas nessas avaliações foram agrupadas em categorias emergentes, de modo a compará-las, além disso, verificamos quais as concepções alternativas presentes e persistentes, que podem se caracterizar como um obstáculo para aprendizagens posteriores.

Contexto da Pesquisa

Este trabalho está inserido num projeto de pesquisa que tem por objetivo, descrever e analisar o processo de aprendizado dos conceitos relacionados ao tema equilíbrio químico, por meio do acompanhamento das aulas, da aplicação de testes diagnósticos e formativos, e da gravação do áudio das aulas, buscando entender como se dá o aprendizado destes conceitos ao longo das disciplinas de Química Geral II e Química Analítica I, em estudantes de dois cursos do período noturno, Licenciatura em Química e Bacharelado em Química Ambiental, oferecidos no Instituto de Química da Universidade São Paulo- IQUSP. A primeira abordagem do tema equilíbrio químico é feita na disciplina Química Geral II, oferecida no segundo semestre do primeiro ano do curso. Nessa disciplina são discutidos, os conceitos fundamentais do equilíbrio químico, as características de um sistema químico em equilíbrio, o cálculo da constante de equilíbrio, as possíveis alterações que um sistema em equilíbrio pode sofrer (em

geral, possíveis de serem previstas pelas aplicações do Princípio de Le Chatelier), o efeito do íon comum e os tipos de equilíbrios: heterogêneo, ácido-base, de solubilidade e de oxido-redução (IQUSP, 2009). Estavam matriculados nesta disciplina 64 alunos sendo 52 alunos ingressantes no ano de 2010, durante as aulas referentes ao tema, haviam em média 40 alunos participando. As aulas aconteciam duas vezes na semana, com duração de uma hora e quarenta minutos, e ao total foram ministradas nove aulas referentes ao tema equilíbrio químico.

Metodologia

Os dados foram coletados no segundo semestre de 2010 durante a disciplina de Química Geral II. O instrumento de coleta de dados compreende uma avaliação inicial (diagnóstica) e uma avaliação final. A avaliação inicial tem por objetivo fundamental analisar a situação de cada aluno antes de iniciar um determinado processo de ensino aprendizagem, e a avaliação final tem por objetivo principal verificar o que o aluno não conseguiu interiorizar e o que pode se caracterizar como um obstáculo para aprendizagens posteriores. Além disso, pode nos dar indícios sobre problemas na de seqüência de ensino (SANMARTÍ, 2009). Estas avaliações, inicial e final, são idênticas e foram formuladas contendo perguntas abertas, onde uma lista de conceitos indutores, necessários para a sua resposta é previamente fornecida. As questões foram elaboradas a partir do estudo do tema equilíbrio químico, abordado nos livros “*Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente*” (ATKINS & JONES, 2001) e “*Química a Ciência central*” (BROWN, *et. al.*, 2007) indicados como referência pela professora da disciplina. O objetivo principal era elaborar questões que explorassem o conhecimento do aluno, sobre aspectos básicos relacionados ao tema equilíbrio químico, deste modo optamos por questões abertas do tipo discursivas. Depois de elaboradas as questões, foram selecionados os conceitos que apareciam com mais freqüência nos livros didáticos, exatamente na parte do texto que tratava da questão elaborada, e que eram então, considerados fundamentais para a elaboração da resposta pelos alunos. Considerando que, aprender e compreender um determinado assunto, é saber estabelecer relações corretas entre diferentes conceitos que compõem os princípios fundamentais deste assunto (NOVAK e GOWIN, 1984), pretendeu-se assim, que os conceitos listados servissem como base para que os alunos respondessem as questões na forma de um texto ou de proposições livres entre os conceitos. A hipótese é de que a presença dos conceitos listados possam realmente induzir a elaboração do texto, de maneira que fiquem explícitas as relações entre os mesmos. Tal hipótese não é aqui analisada e será objeto de futuros trabalhos. O que se pretende avaliar são as mudanças nas respostas dos alunos após a instrução.

A avaliação inicial foi respondida por 35 alunos, e a avaliação final foi respondida por 62 alunos, como parte integrante da avaliação final da disciplina, mas, para método de comparação entre as duas avaliações, só foram aqui analisados os testes dos 34 alunos responderam nos dois momentos de avaliação. Para tratamento dos dados obtidos nessas avaliações, utilizamos a análise de conteúdo (BARDIN, 1977) comparando as respostas obtidas em cada uma das avaliações. Dessa forma, após a organização e exploração dos dados, foram criadas categorias emergentes que agrupam as respostas obtidas na avaliação inicial e final.

Resultados e Discussão

As questões versam sobre os aspectos gerais dos sistemas em equilíbrio químico, bem como: a descrição macroscópica e microscópica e as características do estado de equilíbrio químico; as previsões sobre um sistema que ainda não atingiu o equilíbrio químico; a definição da

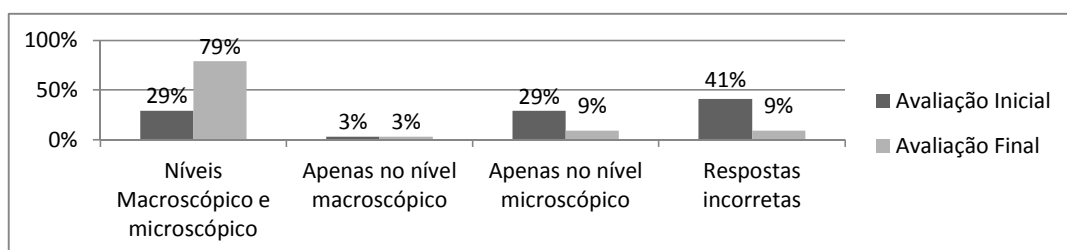
constante de equilíbrio e o significado de seu valor numérico, e as possíveis alterações promovidas em um sistema em equilíbrio químico. A análise das respostas será apresentada por questão de modo a comparar os resultados obtidos na avaliação inicial e final.

Caracterização do sistema em equilíbrio químico

A questão 1 apresentava o seguinte texto: “Caracterize um sistema em equilíbrio químico do ponto de vista macroscópico e microscópico.” (Conceitos indutores: reação direta, reação inversa, reação química, reagentes, equilíbrio químico, produtos, concentração, composição, mistura, tempo de reação, dinâmico, macroscópico, reversível, microscópico, extensão de reação, direção da reação).

As propriedades macroscópicas (cor, estado físico, volume, densidade) permanecem constantes, ou seja, macroscopicamente não se observa nenhuma alteração no sistema. Microscopicamente a reação é dinâmica e reversível, e a partir do momento em que a velocidade de formação de produtos é igual a velocidade de formação de reagentes, as concentrações das espécies permanecem constantes, caracterizando o estado de equilíbrio químico. Deste modo, o objetivo principal desta questão foi de verificar, quantos alunos conseguem categorizar corretamente o equilíbrio químico do ponto de vista macroscópico e microscópico. As respostas foram analisadas e agrupadas, a primeira categoria agrupa as respostas que caracterizam corretamente o equilíbrio químico nos dois níveis representacionais, macroscópico e microscópico, a segunda e terceira categoria agrupam as respostas que caracterizam corretamente o equilíbrio químico em apenas um nível representacional, e na quarta categoria estão as respostas incorretas (Gráfico 1).

Gráfico 1: Caracterização do sistema em equilíbrio químico



Observamos que na avaliação inicial 29% dos alunos caracterizam corretamente o sistema em equilíbrio químico nos dois níveis representacionais, macroscópico e microscópico. Na avaliação final esta porcentagem se eleva para 79%. Consequentemente, o número de alunos que caracterizam o equilíbrio químico destacando apenas um nível representacional diminui na avaliação final. Além disso, a porcentagem de respostas incorretas, também diminui de 41% na avaliação inicial para 9% na avaliação final. Considerando os catorze alunos (41%) que responderam de forma incorreta, seis deles apresentam uma concepção alternativa que já foi relatada em diversos artigos (Pereira, 1989; Souza e Cardoso, 2008; Driel e Gräber, 2002). Eles explicam o equilíbrio químico a partir da concepção de igualdade, indicando uma dificuldade em diferenciar igualdade de constante, como mostram os exemplos¹ abaixo:

“uma reação química está em equilíbrio quando há formação de produtos e reagentes nas mesmas quantidades.” [27]_i

¹ Considere nas transcrições de exemplo o número representado entre colchetes é o número que indica o aluno e a letra subscrita indica: _i = avaliação inicial e _f = avaliação final.

“Para que uma reação química esteja em equilíbrio químico é necessário que os reagentes e os produtos possuam as mesmas concentrações.” [15]_i

Esta concepção pode estar relacionada com a compreensão da palavra equilíbrio aplicada no cotidiano. Entretanto vale ressaltar que, essa concepção alternativa foi encontrada apenas na análise da avaliação inicial.

A descrição do equilíbrio químico pode ser feita relacionando diferentes características de um sistema em equilíbrio químico, tais como, reversibilidade, equilíbrio dinâmico, concentrações constantes e igualdade das velocidades das reações direta e inversa. Quanto maior o número de relações corretas entre esses conceitos e a descrição do sistema em equilíbrio químico, maior é a capacidade de elaboração e raciocínio pelo aluno, fator este, muito importante para a compreensão dos os modelos que explicam a ciência.

Na tabela 1 foram agrupadas as respostas pelas categorias que descrevem as características do equilíbrio químico e como essas características se relacionam, para explicar o equilíbrio químico, sendo que o mesmo aluno pode estar presente em mais de uma categoria.

Tabela 1 - Características do sistema em equilíbrio químico

Características do sistema em equilíbrio químico	Avaliação inicial	Avaliação final
Reversível	65%	65%
Dinâmico	62%	76%
Definido como o estado onde concentrações ou pressão parcial permanecem constantes	38%	44%
Igualdade na velocidade da reação direta e inversa	35%	74%

Na avaliação inicial a característica mais utilizada pelos alunos para explicar o equilíbrio químico, foi a reversibilidade das reações químicas, 65% caracterizam o equilíbrio químico como uma reação reversível. Na avaliação final essa porcentagem se manteve.

“Para haver equilíbrio químico, as reações envolvidas precisam ser reversíveis.” [13]_f

O aspecto dinâmico foi atribuído como uma característica do sistema em equilíbrio químico por vinte e um alunos (62%), e na avaliação final essa porcentagem se eleva para 76% .

“O equilíbrio se caracteriza por ser dinâmico, ou seja, a reação direta e inversa ocorrem de forma a manter o equilíbrio, a nível microscópico.” [26]_i

As características oriundas de uma abordagem cinética do equilíbrio químico também estiveram presentes na explicação. O número de alunos que relacionaram a característica, concentrações de produtos e reagentes constantes no equilíbrio químico, se elevou de treze alunos (38%) na avaliação inicial para quinze (44%) na avaliação final. A igualdade das velocidades das reações direta e inversa foi relacionada por doze alunos (35%) na avaliação inicial, e vinte e cinco alunos (74%) na avaliação final.

“No ponto de vista microscópico, percebe-se que há reação química, mas a velocidade com que se formam os reagentes é a mesma em que se formam os produtos; a velocidade da reação direta é a mesma velocidade da reação inversa, e portanto as concentrações no equilíbrio não se alteram.” [17]_f

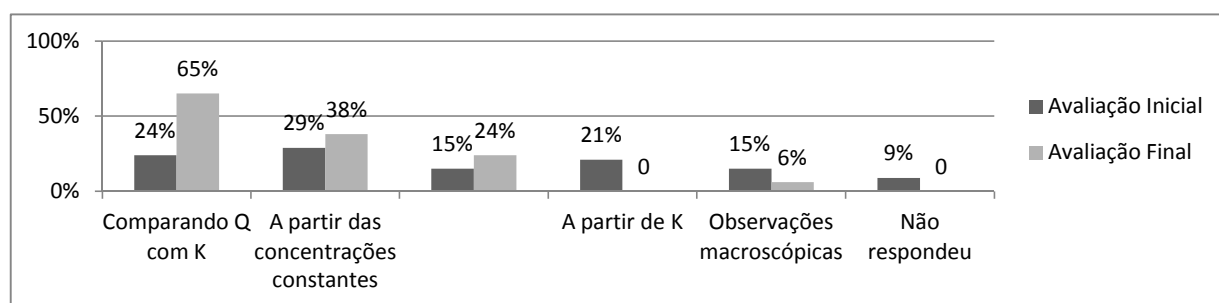
Comparando as avaliações inicial e final, observamos um aumento percentual nas relações entre as diferentes características para explicar o equilíbrio químico. Assim podemos afirmar que na avaliação final os alunos passaram a atribuir mais características para explicar o sistema em equilíbrio químico.

Predições acerca de uma mistura reacional que ainda não atingiu o equilíbrio químico

A questão 2 pedia: “Como se pode saber se um sistema atingiu ou não o estado de equilíbrio químico? Caso um sistema ainda não tenha atingido o equilíbrio como é possível prever se uma determinada mistura reacional produzirá mais reagentes ou mais produtos?” (Conceitos indutores: concentração, constante de equilíbrio (K), pressão parcial, produtos, coeficiente de reação (Q), expressão matemática da constante de equilíbrio, direção da reação, equilíbrio químico, reação inversa, reação química, reagente).

Os aspectos que evidenciam o estado de equilíbrio químico, relacionam diferentes conceitos, como, comparar o coeficiente de reação (Q) com a constante de equilíbrio (K), e que para isso, se precisa conhecer as concentrações de reagentes e de produtos e o valor de K , ou a partir da observação de que as concentrações de reagentes e produtos deixam de variar com o tempo, permanecendo constantes. As respostas foram agrupadas em seis categorias, sendo as duas primeiras categorias (comparando Q com K , e a partir das concentrações constantes) consideradas corretas, já que atribuem características que permitem concluir que o sistema atingiu o equilíbrio químico. A terceira categoria, quando a velocidade da reação direta é igual da reação inversa, embora expresse uma verdade a respeito de um sistema químico em equilíbrio, deve aqui ser considerada incorreta, se o aluno apenas citar este fato sem fazer menção às respostas citadas acima. Vale lembrar que embora no estado de equilíbrio químico, as velocidades das reações de formação de reagentes e de produtos sejam iguais, visualmente (macroscopicamente) ou mesmo experimentalmente, este fato não pode ser verificado. O que se verifica de fato é uma característica visual do sistema (por exemplo, coloração da solução) ou uma propriedade (por exemplo, a condutividade da solução) permanecerem constantes com relação o tempo. Já a quarta categoria é considerada como uma resposta incompleta, pois o aluno relaciona o equilíbrio químico apenas com o valor obtido com uso da expressão matemática da constante de equilíbrio químico, mas não explica. A quinta categoria é a atribuição de aspectos macroscópicos, um tipo de resposta que apresenta restrições, já que só é possível esse tipo de observação se a reação é perceptível, por exemplo, por mudança de cor, quando a cor não muda mais podemos dizer que o sistema atingiu o equilíbrio. Na última categoria estão agrupados os alunos que não responderam a questão. Um mesmo aluno pode estar presente em mais de uma categoria, já que ele pode destacar vários indícios que levam a concluir que o sistema está em equilíbrio químico.

Gráfico 2: Como saber se um sistema atingiu ou não o equilíbrio químico



Na avaliação inicial apenas oito alunos (24%) compararam o valor do coeficiente de reação com a constante de equilíbrio, entretanto, após as aulas sobre o tema esta relação foi feita por vinte e dois alunos (65%), dentre eles estão os alunos “3”, “16” e “27” que sequer

responderam a questão na avaliação inicial. Este aumento se justifica com a abordagem feita pela professora e também pelos livros adotados como referência para disciplina.

“O equilíbrio químico é atingido quando as velocidades das reações direta e inversa são iguais. Isso pode ser verificado se o coeficiente da reação for igual a constante de equilíbrio daquela reação.” [26]_f

A relação entre as concentrações de reagentes e produtos e o equilíbrio químico também aumenta de dez alunos, na avaliação inicial, para treze alunos na avaliação final.

“Para saber se um sistema atingiu o equilíbrio químico basta analisar a concentração dos reagentes e dos produtos. Quando a concentração dos reagentes e dos produtos, em um sistema isolado, parar de variar pode-se dizer que o sistema atingiu sua constante de equilíbrio e que consequentemente ele está no estado de equilíbrio.”[8]_f

Também observamos um aumento de citações na relação entre, a igualdade das velocidades das reações direta e inversa e o equilíbrio químico, de cinco alunos na avaliação inicial, para oito alunos na avaliação final. Respostas menos elaboradas e sem justificativas relacionam diretamente a constante de equilíbrio (K) com o equilíbrio químico, na avaliação inicial essa relação foi feita por sete alunos e na avaliação final não houve relações desse tipo.

“Através da expressão matemática da constante de equilíbrio é possível determinar, ou prever o ponto de equilíbrio.” [13]_i

Além disso, cinco alunos relacionaram a observação macroscópica como dado para verificar se a reação atingiu o equilíbrio, entretanto essa relação tem restrições, sendo válida apenas, quando a reação é perceptível, por exemplo, por mudança de cor ou quando a cor não muda mais, podemos dizer que o sistema atingiu o equilíbrio.

“Pode-se saber se um sistema atingiu o equilíbrio químico observando se ocorrem mudanças macroscópicas.” [10]_i

Na avaliação final, este tipo de relação caiu para dois alunos, entretanto eles atribuíram também outras características para explicar o equilíbrio químico.

“Um sistema atinge o equilíbrio quando macroscopicamente não há alteração. Microscopicamente quando as concentrações de produtos e reagentes não mudam com o tempo. Se ao calcular o coeficiente da reação chegamos a um valor de Q, se este é menor que K o equilíbrio será deslocado favorecendo a formação de produtos. Caso Q seja maior que K será formado mais produtos. Caso Q seja maior que K será formado mais produtos. Se Q é igual a K a reação está em equilíbrio.”[33]_f

Analisando os dados podemos observar que o número de alunos que atribuiu uma característica correta para prever se o sistema está em equilíbrio químico, aumentou na avaliação final, ou seja, houve uma maior relação entre os conceitos como: coeficiente de reação, constante de equilíbrio, concentração de produtos e reagentes e o equilíbrio químico.

A questão que consideramos agora é como predizer se uma mistura reacional tem tendência para formar mais produtos, ou para se decompor em reagentes. Para responder essa questão, o aluno deve calcular o quociente da reação Q a partir da composição real da mistura reacional. Para prever se uma mistura particular de reagentes e produtos terão tendências a produzir mais produtos ou mais reagentes, comparamos Q com K. As respostas foram agrupadas em quatro categorias, onde apenas a primeira categoria é considerada correta, já que compara o coeficiente de reação com a constante de equilíbrio químico. A segunda categoria agrupa as respostas que justificam o uso do princípio de Le Chatelier para prever se um sistema que ainda não atingiu o equilíbrio químico produzirá, mais reagentes ou produtos, e a terceira categoria, agrupa as respostas que fazem uma análise do valor da constante de equilíbrio químico (K), entretanto, estas duas categorias agrupam respostas incorretas, já que a aplicação

do princípio de Le Chatelier e a análise da constante de equilíbrio químico só pode ser aplicada à sistemas que já estão em equilíbrio químico, o que não é o caso. Na ultima categoria estão os alunos que não responderam a esta questão (Gráfico 3).

A relação entre o coeficiente de reação, a constante de equilíbrio químico e a previsão da composição da mistura reacional em equilíbrio químico, aumenta de quatro alunos na avaliação inicial (12%) para vinte e nove alunos (85%) na avaliação final. Entretanto, deve se destacar que quando comparamos Q com K, consideramos um sistema que ainda não atingiu o equilíbrio químico e deste modo, as previsões são feitas com base em velocidades das reações que ainda não são iguais.

“Com o valor do coeficiente de reação comparando-o com a constante de equilíbrio esperado, é possível estimar sobre o que será mais produzido entre reagentes e produtos.” [26];

A simples menção quanto à análise do valor da constante de equilíbrio diminui de dez alunos, na avaliação inicial, para apenas três na avaliação final. Neste caso os alunos confundem a previsão da extensão de uma reação química, dada pela constante de equilíbrio com a previsão do sentido de uma reação dada condições iniciais de uma mistura reacional, que exige comparar esta condição inicial, expressa por Q, com o valor de K. Nos dois caso o que está em jogo é o conceito de espontaneidade de reação que pode ser expresso pela equação termodinâmica $\Delta G = - RT \ln K + RT \ln Q$. Tal confusão denota como estes conceitos devem ser trabalhados de uma maneira mais exaustiva.

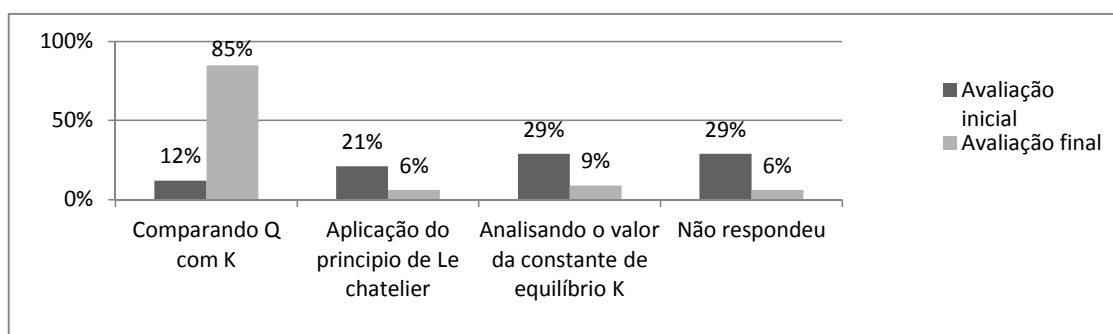
“Para se saber se uma determinada mistura reacional formará mais produto ou reagente basta analisarmos o valor da constante de equilíbrio. Caso ela seja alta, a formação dos produtos é favorecida. Caso ela seja baixa, a formação dos reagentes é favorecido.” [8];

Sete alunos aplicam o princípio de Le Chatelier para prever a composição da mistura em equilíbrio químico, esse número de relações decaem para dois alunos na avaliação final. Mais uma vez se denota uma confusão conceitual, onde uma regra utilizada para prever alterações do estado de equilíbrio químico, à partir de uma alteração das condições experimentais que o definem, é utilizada de uma maneira incorreta e de forma acrítica, a partir de uma extrapolação da generalização desta regra (Canzian e Maximiano, 2010).

“A ação de fatores durante uma reação pode agir na direção de formação de mais produtos ou reagentes, segundo o princípio de Le Chatelier” [1];

No entanto é positivo observar que o número de alunos que não responderam diminui de dez, na avaliação inicial, para dois na avaliação final.

Gráfico 3: Como prever se uma mistura reacional tem tendência para formar mais produtos ou para se decompor em reagentes.



A constante de equilíbrio químico (K)

A questão 3 pedia: “Defina o que é uma constante de equilíbrio. Como se pode determinar uma constante de equilíbrio? Aponte o que seu valor numérico pode nos indicar, ou quais são seus possíveis usos.” (Conceitos indutores: concentração, constante de equilíbrio (K), equilíbrio químico, extensão da reação, lei de ação de massas, expressão matemática da constante de equilíbrio, produtos, reação direta, reação inversa, reagentes, temperatura, variação de energia livre padrão (ΔG°), velocidade de reações, estequiometria de reação).

A constante de equilíbrio depende da temperatura do sistema, e está diretamente relacionada com a composição de uma reação em equilíbrio químico. Especificamente se podemos esperar uma concentração alta ou baixa de produtos, permitindo também prever a direção na qual a reação se processa quando os reagentes e os produtos estão presentes a uma concentração arbitrária. Entretanto, a constante de equilíbrio nada diz a respeito da velocidade na qual o equilíbrio é atingido. As respostas foram distribuídas em quatro categorias, na primeira estão agrupadas as respostas que definem a constante de equilíbrio químico, a partir da descrição ou apresentação da expressão matemática da constante de equilíbrio; na segunda categoria estão as respostas que definem a constante de equilíbrio químico como a extensão da reação (ou o “quão longe” vai a reação); a terceira categoria agrupa as respostas que definem a constante de equilíbrio químico como o ponto de equilíbrio, essas três categorias são consideradas corretas, na última categoria estão os alunos que não responderam a questão (Gráfico 4).

Para Machado e Aragão (1996), os estudantes concebem a constante de equilíbrio como uma ‘entidade matemática’ capaz de influenciar diretamente no fenômeno da transformação química. A análise dos nossos resultados confirmou esta concepção, esse tipo de resposta foi observado em 65% dos alunos na avaliação inicial. Possivelmente, uma abordagem excessivamente quantitativa do conceito de equilíbrio químico no ensino médio, onde K é extensivamente utilizado para fazer cálculos, sem que se reflita profundamente a respeito de seu significado físico, levando a não compreensão do significado da constante de equilíbrio relacionando ela, exclusivamente a sua fórmula matemática.

“Constante de equilíbrio é a relação dos produtos sobre os reagentes, elevados aos seus coeficientes estequiométricos.” [20]_i

Na avaliação inicial, apenas um aluno (3%) definiu a constante de equilíbrio corretamente com base na extensão da reação, na avaliação final este número aumenta para dez alunos (29%). Enquanto o número de alunos que definem a constante a partir da descrição da expressão matemática cai para dezesseis alunos (47%). Possivelmente a abordagem feita pela professora nas aulas e a abordagem feita nos livros indicados como referência, podem ter influenciado diretamente na evolução deste resultado, mesmo esta ainda sendo discreta.

“Constante de equilíbrio expressa a extensão da reação qual a possibilidade de ocorrer determinada reação e o “quão longe” ela vai.” [33]_f

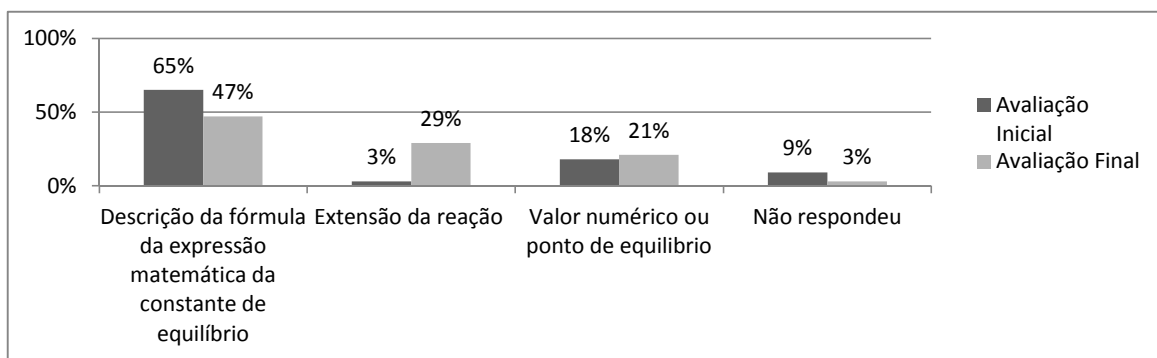
A porcentagem de alunos que definem a constante de equilíbrio como um ponto de equilíbrio ou como um valor numérico no qual a reação está em equilíbrio, se mantém constante na avaliação inicial e final.

“Constante de equilíbrio é o valor que mostra quando o equilíbrio é atingido em uma reação química.” [24]_i

“É um valor que mostra quando uma reação química entrou em equilíbrio.” [17]_f

Três alunos que não responderam a avaliação inicial passaram a definir a constante de equilíbrio, a partir da descrição da expressão matemática da constante de equilíbrio químico e da extensão da reação e apenas um, não definiu a constante de equilíbrio na avaliação final.

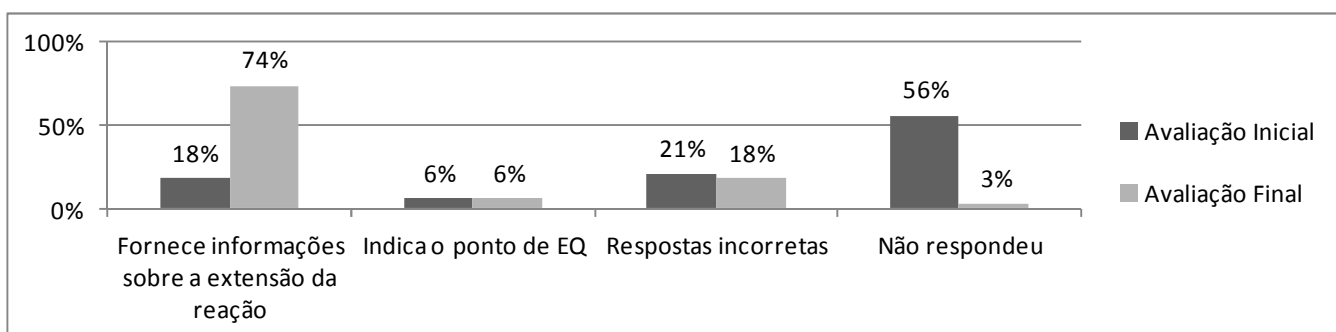
Gráfico 4: Definição da Constante de Equilíbrio



O segundo aspecto investigado nesta questão é qual o significado do valor numérico obtido na constante de equilíbrio químico. As respostas obtidas, foram agrupadas em quatro categorias, na primeira categoria, estão as respostas que associam corretamente o valor numérico da constante de equilíbrio químico a extensão da reação. Na segunda categoria, estão as respostas que justificam que o valor numérico obtido indica o ponto de equilíbrio, este tipo de resposta é considerada incompleta, já este valor fornece mais informações referentes ao equilíbrio. A terceira categoria agrupa as respostas incorretas e a última categoria mostra a porcentagem de alunos que não responderam a esta questão (Gráfico 5).

Na avaliação inicial a maior parte dos alunos (56%) não respondeu qual o significado do valor numérico da constante de equilíbrio, apenas seis alunos (18%), relacionaram corretamente o significado de seu valor numérico com informações sobre a extensão da reação, na avaliação final essa porcentagem se eleva para 74%. E apenas um aluno não respondeu a questão na avaliação final. Indicando uma importante evolução na aprendizagem referente a este aspecto. A análise dessa questão indicou também que, a maioria dos alunos (vinte e nove), não relaciona a constante de equilíbrio com a temperatura. Na avaliação inicial apenas cinco alunos fizeram esta relação, na avaliação final, este número se elevou para dez alunos, mas ainda é elevado o número de alunos (vinte e quatro), que mesmo após as aulas referentes ao tema, ainda não relacionam a dependência de K com a temperatura, sendo uma das concepções alternativas mais citadas por Raviolo e Aznar (2003).

Gráfico 5: Significado do valor numérico da constante de equilíbrio químico



Predições acerca de alterações nas condições de um sistema em equilíbrio químico

Finalmente, a questão 4 apresentava o seguinte texto: “Como podemos prever possíveis alterações no estado de equilíbrio químico promovidas por uma alteração nas condições do sistema?” (Conceitos indutores: concentração, constante de equilíbrio (K), deslocamento de equilíbrio, direção da reação, endotérmico, exotérmico, lei de ação das massas, perturbação, princípio de Le Chatelier, coeficiente de reação (Q), reação direta, reação inversa, reagentes, temperatura, volume, expressão matemática da constante de equilíbrio, variação de entalpia).

Como os equilíbrios são dinâmicos, eles respondem a mudanças nas condições quando adicionamos ou removemos um reagente, o valor de ΔG_r sofre uma variação e a composição muda, até que $\Delta G_r=0$ novamente. As composições também podem variar em resposta a mudanças na pressão ou na temperatura. É relativamente fácil prever como a composição de uma reação em equilíbrio, tende a mudar quando as condições são alteradas. O químico Frances Henri Le Chatelier identificou os princípios gerais para essa perturbação. Este princípio empírico, no entanto, não é mais do que uma regra prática. Isto não nos fornece uma explicação ou previsão quantitativa (CANZIAN e MAXIMIANO, 2010). Podemos também explicar termodinamicamente considerando os valores relativos, de Q e K para o caso de alterações de concentração e pressões ou da dependência de K com a temperatura para casos de variação nesta propriedade (CHEUNG, 2004 e KATZ, 1961). As repostas foram analisadas e as duas primeiras categorias são consideradas corretas, pois estão agrupadas as respostas que prevêem possíveis alterações no sistema em equilíbrio químico a partir da aplicação do Princípio de Le Chatelier, e a da comparação entre Q e K. Na terceira categorias estão respostas incorretas e na ultima categoria é apresentado a porcentagem de alunos que não responderam a esta questão (gráfico 6).

A maior parte dos alunos, tanto na avaliação inicial (79%) quanto na avaliação final (97%) respondem que é possível prever alterações no estado de equilíbrio aplicando o Princípio de Le Chatelier.

“O Princípio de Le Chatelier nos diz que um sistema em equilíbrio químico tende deslocar-se no sentido direto ou inverso, a fim de minimizar os efeitos das perturbações ao sistema.” [11]_f

Entretanto nenhum dos alunos estabelecem os limites de aplicação deste princípio e conforme destacado por Canzian e Maximiano (2010), este é um problema relatado inclusive na análise de livros didáticos usados no ensino médio, onde este princípio embora seja utilizado de forma fundamental na predição qualitativa da evolução do sistema, sua formulação apresenta um “*caráter indutivo, vago, ambíguo, universal, sem fundamentação teórica e sem mostrar suas limitações.*”

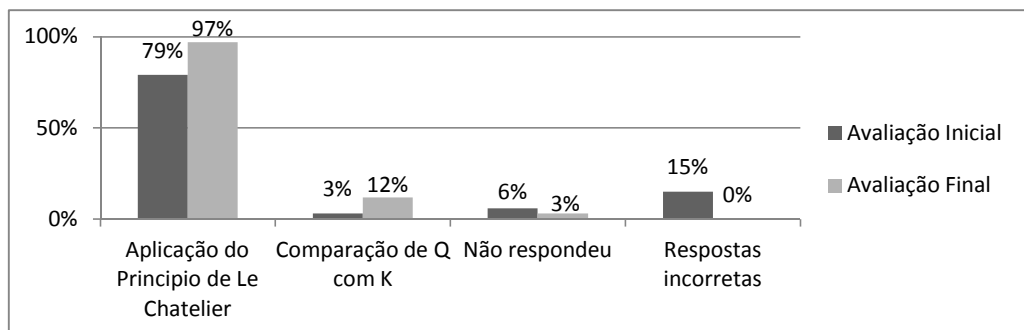
Na avaliação inicial somente um aluno compara o coeficiente de reação (Q) com a constante de equilíbrio químico (K) para prever as possíveis alterações no equilíbrio químico, já na avaliação final esse número de alunos que fazem esta relação aumenta para quatro.

“Se, no equilíbrio a concentração dos reagentes for aumentada ($Q < K$), o equilíbrio tende a se deslocar no sentido da formação dos produtos, até restaurar o estado de equilíbrio. Se a concentração dos produtos for aumentada ($Q > K$) e o equilíbrio tende a se deslocar no sentido de formação dos reagentes.” [1]_f

Mesmo após as aulas referentes ao tema, a aplicação do Princípio de Le Chatelier para prever alterações no sistema em equilíbrio químico é majoritária (97%). Segundo Canzian e Maximiano (2010), ao abordar a predição das alterações que podem sofrer um sistema em equilíbrio, é preciso considerar todos os fatores que afetam o sistema de uma maneira mais

rigorosa, fazendo principalmente um uso mais extensivo da equação da constante de equilíbrio na resolução de problemas dessa natureza.

Gráfico 6: Como prever possíveis alterações no estado de equilíbrio químico promovidas por uma alteração nas condições do sistema?



Conclusão

A análise, das duas primeiras questões, mostram um resultado positivo na comparação das respostas obtidas na avaliação inicial e final, e que permite concluir que a abordagem feita pela professora e também pelos livros adotados como referência para disciplina foram efetivas e fundamentais para a aprendizagem do tema. Nestes casos, observamos que após as aulas, a maior parte dos alunos (79%) passam a caracterizar corretamente o sistema nos dois níveis representacionais, macroscópico e microscópico. Além disso, a porcentagem de respostas incorretas também diminuiu de 41% na avaliação inicial para 9% na avaliação final. Relacionados aos aspectos que evidenciam o estado de equilíbrio químico, observamos que de modo geral, o número de alunos que atribuem, pelo menos uma característica correta para prever se o sistema está em equilíbrio químico, aumentou na avaliação final, ou seja, houve uma maior relação entre os conceitos, coeficiente de reação, constante de equilíbrio, concentração de produtos e reagentes constantes. Observamos também, que o número de alunos que aplicavam o Princípio de Le Chatelier, para prever se uma mistura reacional que ainda não atingiu o equilíbrio, tem tendência para formar mais produtos ou para se decompor em reagentes, o que denota uma confusão conceitual, diminuiu, e conseqüentemente aumentou a relação entre o coeficiente da reação e a constante de equilíbrio químico para fazer previsões deste tipo. Entretanto, os resultados obtidos na análise da terceira e a quarta questão, indicam que ainda é baixa a porcentagem de alunos (29%) que a definem a constante de equilíbrio químico, em termos de extensão de reação, a maioria (47%) o fazem a partir da descrição da sua fórmula matemática. A maioria dos alunos mesmo após as aulas não relacionam a dependência da constante com a temperatura. Embora o número de alunos, que comparam o coeficiente da reação, e a constante de equilíbrio para prever as possíveis alterações no equilíbrio químico tenha aumentado de um aluno, na avaliação inicial, para dez alunos na avaliação final, a melhora na compreensão deste conceito, ainda está longe do desejável, pois não atingiu nem metade da turma, sendo a aplicação do Princípio de Le Chatelier a opção majoritária (97%) para prever alterações no sistema em equilíbrio químico. Estes resultados indicam, mais uma vez, que o correto aprendizado conceitual não se dá de uma forma completa, sendo necessário que as questões que se mostram mais resistentes à mudanças, precisam ser retomadas em outras etapas do curso de graduação.

Referências

- ATKINS, P.; JONES, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001
- BARDIN, Laurence. Análise de Conteúdo. Lisboa: Edições 70 LDA, 1977.
- BROWN, Theodore L. Química a Ciência Central. 9ª. Edição – São Paulo : Pearson Prentice Hall. 2007.
- CANZIAN, R.; MAXIMIANO, F. Princípio de Le Chatelier O que tem sido apresentado em livros didáticos? Química nova na escola. 32 (2), 107-119, 2010.
- MACHADO, A. H.; ARAGÃO, R. M. R.. Como os estudantes concebem o estado de Equilíbrio Químico. Química Nova na Escola, 4: 18-20, Nov/1996.
- MONCALEANO, H.; FURIÓ, C.; HERNANDEZ, J.; CALATAYUD, M. L. Comprensión Del equilibrio químico y dificultades em su aprendizaje. Enseñanza de las ciencias, 111-118, 2003.
- PEREIRA, M. P. B. A.. Equilíbrio Químico – Dificuldades de aprendizagem I-Revisão de opiniões não apoiadas por pesquisa. Química Nova, 12(1): 76-81, 1989
- QUILEZ-PARDO, J. Acerca de la resolución de problemas y la evaluación del equilibrio químico. Educación Química. 11 (4), 395-403, 2000.
- QUILEZ-PARDO, J., e SANJOSÉ- LÓPEZ V. Errores conceptuales em El estudio Del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrect aplicación Del principio de Le Chatelier. Enseñanza de las ciencias. 13(1), 72-80, 1995
- SANMARTÍ, N. Avaliar para Aprender. Porto Alegre: Artmed, 2009
- SOUZA, A. F. D. K. e CARDOSO, A. A. Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem e, sala de aula. Química nova na escola. 27, fevereiro 2008.
- Van Driel, J. H. V. e Gräber, W. (2002). The teaching and learning of chemical equilibrium. Em Gilbert, J., Onno D. J., Justi, R., Treagust D., Driel J. (eds.), Chemical education: Towards research-based practice. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- NOVAK, J. D. e GOWIN, D. B. Learning how to learn, 1984, New York: Cambridge Learning Press, 199 p.
- CHEUNG, D. The scientific inadequacy of Le Chatelier's principle. Hong Kong Science Teachers Journal, v. 22, p. 35-43, 2004. Disponível em <<http://www3.fed.cuhk.edu.hk/chemistry/files/LCP.pdf>>. Acesso em março 2009.
- KATZ, L. A systematic way to avoid Le Chatelier's principle in chemical reaction. Journal of Chemical Education, v. 38, p. 375-377, 1961.