

Erros e dificuldades de aprendizagem de estudantes do ensino médio na compreensão de Reação Química como um sistema complexo

Error and learning difficulties of secondary students concerning to the comprehension of Chemistry Reaction as a complex system

Fabia Maria Gomes Uehara

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
fabia.meneses@ifrn.edu.br

Isauro Beltrán Núñez

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
isaurobeltran@yahoo.com.br

Camila Mayara Bezerra Victor

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
cmayara.quimica@gmail.com

Resumo

Apresentamos uma análise do rendimento de candidatos em uma questão discursiva da prova de Química do Vestibular 2013 da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Nas respostas de candidatos que obtiveram notas na média ou abaixo desta, buscamos conhecer os principais erros e dificuldades que mobilizam a aprendizagem do conceito de reações químicas como um sistema complexo. O relatório apresentado pelos avaliadores que corrigiram as 7310 respostas a esta questão subsidiou as análises, feitas a partir de doze respostas selecionadas. Os resultados apresentaram a ocorrência de dificuldades relativas à definição dos conceitos de Energia Livre de Gibbs (ΔG), K_p e o valor da energia de ativação e as inter-relações entre eles para explicar uma reação química. Outra dificuldade foi verificada na utilização das relações de proporção no cálculo estequiométrico. A investigação dessas dificuldades torna-se uma relevante ferramenta para uma reflexão na busca pela melhoria da aprendizagem da Química.

Palavras chave: reação química, dificuldades de aprendizagem, erros conceituais

Abstract

It is exposed an analysis about the candidates' performance in a Chemistry discursive question of the admission test for *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Brazil. By examining the answers of those candidates who have obtained the average score or less than that, we have sought to discover the main error and difficulties concerned to the learning of

Chemistry Reactions concept as a complex system. The report provided by the professors who corrected the 7310 answers for the considered question has sustained the analysis, which has been done through twelve selected answers. The results have shown the occurrence of students' difficulties related to the concepts of Gibbs Energy (ΔG), K_p and the activation energy value and the inter-relations among them to explain the Chemistry Reactions. Another difficulty has been verified in the usage of proportion relations in stoichiometric calculation. The investigation of those difficulties is a relevant instrument which could provide reflections for the achievement of Chemistry learning improvement.

Key words: chemistry reactions, learning difficulties, conceptual errors

Introdução

O estudo das reações químicas é considerado como um dos eixos estruturantes da disciplina de Química no ensino médio, uma vez que desenvolvem nos estudantes os conteúdos necessários para que compreendam mudanças no mundo físico. Segundo as orientações curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006), a Química estrutura-se como um conhecimento no qual se estabelecem relações complexas e dinâmicas, as quais envolvem um tripé ou três eixos constitutivos, a saber: as transformações químicas, os materiais e suas propriedades e os modelos explicativos.

A importância do estudo das transformações químicas tem sido apontada por vários autores, como Caamaño et. al. (2003), Garritz (2010); Silva *et al* (2008), Galagovsky (2005), Izquierdo (2004), Rosa e Schretzler (1998). Como explica Caamaño et. al. (2003), a Química é a disciplina científica que estuda as substâncias e suas transformações, assim como as teorias que explicam essas mudanças, sendo seu objetivo teórico principal modelizar a estrutura das substâncias e das reações químicas.

Nesse contexto, considerando os fenômenos e as transformações das substâncias objetos centrais do estudo da Química, a escola deve apresentar aos alunos do ensino médio a transformação química como um processo reacional que pode ser compreendido mais claramente se as transformações das substâncias forem associadas às transformações energéticas, cinéticas e dinâmicas como um sistema complexo, como afirmam Núñez e Gonzalez (1996), evitando uma abordagem mecânica, – mero jogo de armar que normalmente conferimos ao ensino das reações a partir de suas representações: as equações químicas (LOPES, 1995).

Autores como Mortimer e Miranda, (1995), Rosa e Schretzler, (1998), Johnstone (1982), Nardin, Salgado e Del Pino (2005), Furió e Furió (2000), Uehara (2005), Núñez (1992) e Núñez e Gonzalez (1996), em seus trabalhos, apresentam as dificuldades dos alunos ao interpretar uma reação química observando seus diversos parâmetros, quantitativos, termodinâmicos, cinéticos, e do equilíbrio. As dificuldades discutidas nos seus estudos identificam erros conceituais cometidos por alunos na compreensão da representação de uma equação química, não sendo reconhecida por eles a necessidade da interação entre substâncias na produção de novas substâncias.

A linguagem como um obstáculo na compreensão simbólica de uma reação química é encontrada nas pesquisas de autores como Johnstone (1982; 2006), Childs e Sheehan (2009), Laugier e Dumon (2004). Ao considerar o estudo das transformações químicas, é necessário compreender e interpretar as reações químicas por intermédio de símbolos, fórmulas, convenções e códigos. É imprescindível que os alunos desenvolvam competências adequadas

para saber utilizar tal linguagem, sendo capazes de entender e empregar, a partir das informações, a representação simbólica das reações químicas.

Outra dificuldade encontrada relativa aos erros conceituais cometidos por estudantes pode ser resgatada nas pesquisas de autores como Mortimer e Miranda (1995), Kozma e Russel (1997), Jensen (1998), Echeverría (1996), Furió e Furió (2000), Kermen e Méheut (2009), os quais justificam os erros a partir das dificuldades que os alunos possuem para transitar pelos níveis macroscópico, microscópico e simbólico. Em geral, as explicações dos alunos do ensino médio concentram-se no nível macroscópico, isto é, no campo fenomenológico, e a transferência de aspectos observáveis no nível macroscópico para o nível microscópico dificulta que construam modelos explicativos coerentes que se aproximem mais dos modelos científicos.

Desse modo, a análise da literatura tem mostrado que o ensino de química tem privilegiado o uso de equações químicas que representam reações químicas, mas não explicam em que meio ocorre a reação e, muitas vezes, não apresentam o estado físico das substâncias envolvidas. Ademais, apresenta-se uma classificação para as reações por um sistema já bastante desatualizado, dos tipos, simples troca, dupla troca, deslocamento, síntese e decomposição. Esse panorama conduz o aluno a manter a concepção de reação num nível fenomenológico ou com dificuldade de relacionar este nível com o nível atômico-molecular (MORTIMER; MIRANDA, 1995).

A compreensão de uma reação química exige uma postura integrada e sistêmica (NÚÑEZ, 1992). Não obstante, podemos constatar que o ensino das transformações químicas e as próprias pesquisas sobre o ensino desse conteúdo, no geral, estruturam-se a partir das dimensões de sistema e não da sua totalidade integrada.

A matriz de conhecimentos químicos, habilidades, valores da base comum, defendida nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – DCNEM (BRASIL, 1998), caracterizam o estudo das transformações químicas como um sistema a partir da compreensão de seus aspectos: caracterização, aspectos energéticos, aspectos dinâmicos e modelo de constituição. Constatou-se, todavia, que a questão da fragmentação dos saberes não opera só entre disciplinas, como também é uma característica de cada disciplina.

Compreender uma reação química como sistema supõe uma visão de sistema de totalidade, como tem apontado Reshetova (1988), Sálmina (1988) e Núñez (1992), e implica um olhar no paradigma da complexidade (MORIN, 1999) e da holística (CAPRA, 2004).

Resgatado esse contexto, bem como justificada e fundamentada a problemática aqui apresentada, esta pesquisa tem como finalidade discutir os erros e dificuldades de aprendizagem de estudantes do ensino médio na prova de Química discursiva do Vestibular 2013 da Universidade do Rio Grande do Norte, UFRN, questão nº 5, que procurava avaliar a compreensão sobre conceitos a serem mobilizados para entender uma reação química como um sistema, solicitando aos candidatos que fizessem as conexões entre os conceitos de Energia Livre de Gibbs (ΔG), K_p e o valor da energia de ativação.

Metodologia

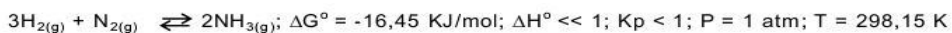
O estudo fundamentou-se na discussão das respostas de uma pergunta discursiva na prova de Química do vestibular de 2013, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Os dados foram obtidos a partir do Relatório Pedagógico da Comissão Permanente de Vestibular da UFRN – Comperve, produzido pelos professores que, institucionalmente, corrigiram as provas do processo seletivo. A questão em análise tinha como objetivo fundamental avaliar os

conhecimentos dos estudantes para interpretar uma reação química como um sistema, como mostra a Figura 1:

Questão 5

Na história da Química, um dos estudos mais significativos foi desenvolvido pelo químico alemão Fritz Haber para a obtenção da amônia (NH_3). Essa substância é estrategicamente importante para outros processos da indústria química assim como para a produção de fertilizantes. O processo foi aperfeiçoado posteriormente por Carl Bosch. A importância dessas pesquisas valeu a Haber, em 1918, e a Bosch, em 1931, o Prêmio Nobel de Química.

O processo de obtenção da amônia na indústria se realiza a partir da reação do $\text{H}_{2(g)}$ com o $\text{N}_{2(g)}$, mostrada através da equação a seguir:



Para que esse processo ocorra e seja economicamente viável, os pesquisadores mostraram que deve acontecer a altas temperaturas, a alta pressão de forma tal a compensar o efeito da temperatura, e na presença de um catalisador por ter alto valor a energia de ativação da etapa lenta do mecanismo da reação, se comparada com outras reações nessas condições. Considerando essa situação,

- A) qual o significado de $\Delta G^\circ = -16,45 \text{ KJ/mol}$, de $K_p < 1$ e do valor da energia de ativação observado na etapa informada?
- B) por que, para compreender se uma reação química acontece na prática, é importante conhecer os valores dos parâmetros ΔG° , de K_p e o da energia de ativação?
- C) para produzir diariamente oito toneladas de amônia, qual a quantidade necessária de hidrogênio, considerando-se que se dispõe de quantidade suficiente de nitrogênio?

Figura 1 – Questão número cinco da prova discursiva de Química

Segundo o Relatório Pedagógico da Comperve 2013, a questão foi corrigida por dois examinadores, de forma independente, segundo a chave de correção mostrada no Quadro 1. A nota final corresponde com a média das notas atribuídas por cada examinador. No final do processo, os examinadores relatam quais são os erros mais frequentes dos candidatos e relacionam esses erros com possíveis dificuldades de aprendizagem, sendo estes os dados objeto de nossas análises.

➤ **Competência:** Apropriar-se de conhecimentos da química para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológico.

➤ **Habilidade/Sub-Habilidade:** Explicar uma reação química como sistema, na base de diversos parâmetros quantitativos, termodinâmicos, cinéticos, e do equilíbrio; correlacionar propriedades com estruturas nas substâncias químicas.

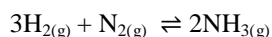
➤ **Conteúdo conceitual:** Termodinâmica, Equilíbrio, Cinética e Estequiometria.

➤ **Expectativa de resposta:**

para o item A: Para o valor $\Delta G = -16,45 \text{ J/mol}$ a reação é espontânea, já o valor de $K_p \ll 1$ significa um baixo rendimento, ou seja maior quantidade de reagentes que de produtos no equilíbrio. O elevado valor de energia de ativação significa que a reação é muito lenta nessas condições.

para o item B: Cada um dos parâmetros apresentados em separado só informam elementos parciais da reação, conseqüentemente, para saber se a reação acontece na prática é necessária a combinação das três informações, pois uma reação pode ser espontânea ($\Delta G < 0$) mas ser lenta (energia de ativação elevada) ou ter baixo rendimento ($K_p \ll 1$). Por isso a necessidade de se conhecer os três parâmetros

para o item C: Segundo as relações entre as massas



8 toneladas: $8 \times 10^6 \text{ g}$; Massa Molar do $\text{NH}_3 = 17 \text{ g}$; Massa Molar do $\text{H}_2 = 2 \text{ g}$

Relação estequiométrica: 6g de H_2 _____ 34g de NH_3

Xg necessário para se obter _____ $8 \times 10^6 \text{ g}$ de NH_3 R.: $X = 1,4 \times 10^6 \text{ g}$ de H_2

Quadro 1 – Chave de correção para a quinta questão discursiva de Química - Comperve 2013

Nas análises destes pesquisadores, foram utilizadas duas categorias: o erro e as dificuldades de aprendizagem. Johnstone (1984), explica essa dificuldade nas disciplinas das ciências naturais, como a Química, a partir das relações entre as capacidades e competências dos estudantes e a demanda da pergunta. Assim, um baixo desempenho de um grupo de estudantes na resposta a uma pergunta pode ser explicado também pela carência de estratégias para resolver a tarefa, pelas deficiências no conhecimento conceitual ou pela demanda cognitiva excessiva da pergunta para uma capacidade mental dada.

Consideramos como erro uma resposta dada por um estudante a uma questão, quando essa resposta não coincide com a que é definida como correta pela disciplina, ou seja, quando a resposta dada não é válida no contexto da disciplina científica. Nessa perspectiva, o erro é a manifestação externa da dificuldade de aprendizagem, apresentando-se sempre como relativo, uma vez que é produzido e identificado em relação a uma referência considerada correta pela área de conhecimento. O erro não acontece por “azar”; ele é resultado de uma dificuldade (NÚÑEZ; RAMALHO, 2012).

Resultados do estudo

No ano de 2013, a questão em análise, da prova de química foi respondida por um total de 7.310 candidatos, o que significa que este é o número de provas discursivas corrigidas. Os resultados foram agrupados, em consonância com a Tabela 1:

Notas	Quantidade	% de candidatos
0	2649	36,2
0,01 - 0,25	1729	23,7
0,26 - 0,50	1655	22,6
0,51 - 0,75	528	7,3
0,76 - 1,00	749	10,2

Tabela 1 - Proporção de candidatos segundo o desempenho

A partir dos dados da Tabela 1, é possível extrair que a nota média da questão foi de 0,26 de um valor máximo de 1. Esse valor baixo de desempenho dos candidatos evidencia-se na tabela. Como é observado, a maior proporção dos candidatos teve notas menores que 0,51. Destaca-se que 36,2% tiveram notas zeros e só 10,2% tem notas superiores a 0,75. Esses resultados mostram que a maioria dos estudantes não tem o conhecimento e as habilidades que são exigidos para responder corretamente a questão.

Na concepção dos professores avaliadores, o pior desempenho foi no item B, no qual se devem integrar as três informações – os valores de ΔG° , K_p e da energia de ativação – para justificar a importância de perceber a reação química como um sistema. Segundo eles, dos 7,3% dos candidatos que tiveram desempenho entre 0,51 e 0,75, nenhum respondeu corretamente esse item da questão. Os estudantes, de forma geral, não conseguem ter uma visão de totalidade de uma reação química.

No relatório pedagógico da Comperve 2013, são apontados, como erros mais frequentes, na percepção dos avaliadores:

- Confundir os sentidos de ΔG° , energia de ativação e da K_p ;
- Relações estequiométricas inadequadas;
- Responder de forma fragmentada; e
- Erros de cálculos básicos.

Os erros evidenciam as manifestações das dificuldades de aprendizagem. É o que pode ser constatado no nível fenomenológico. As dificuldades de aprendizagem são as causas que podem ser atribuídas aos erros; são hipóteses que estabelecemos para compreender o porquê dos erros (NÚÑEZ; RAMALHO, 2012). Sendo assim, pode-se pensar que:

- As dificuldades em relação aos erros de cálculos básicos podem ser explicadas, em termos hipotéticos, pela pouca proficiência sistemática, pelo limitado pensamento teórico que dificulta usar cálculos e compreender processos de solução;
- Os cálculos inadequados da massa podem ser explicados pela dificuldade dos estudantes em estabelecer relações estequiométricas, na compreensão inadequada entre os níveis macroscópicos (FURIÓ; AZCONA; GUIASOLA, 2002);
- As respostas fragmentas são resultantes, dentre outras causas, de uma aprendizagem fragmentada, que não integra os conhecimentos para construir sentido a um objeto complexo como a reação química. Embora o estudo das reações químicas devam ser realizados de forma integrada, como se orienta nas DCNEM (BRASIL, 1998), os livros, os programas das disciplinas, a função e a própria prática não se desenvolvem seguindo essa perspectiva. Isso também influencia e explica parcialmente as dificuldades dos estudantes para estabelecer relações diversas entre as partes de um sistema, como explicam Pozo e Gómez Crespo (2009).

Em meio aos erros e dificuldades identificados, constatou-se um percentual pequeno de estudantes que consegue explicar os valores de ΔG° , de energia de ativação e da K_p , em separado. Desses três parâmetros, verificou-se a dificuldade para explicar o sentido do valor da energia de ativação na reação química. O valor da K_p , que expressa a extensão do estado de equilíbrio, embora em maior proporção em relação à energia de ativação, ainda evidencia um baixo nível de conhecimento dos estudantes. Essas dificuldades de aprendizagem têm sido reportadas em estudos como os de Johnstone (2006) e Childs e Sheehan (2009).

Compreender estequiometria é essencial na química e está baseada nas leis ponderais, principalmente na Lei da conservação da massa e na Lei das proporções fixas ou definidas. Esse conteúdo apresenta duas características que tornam as questões susceptíveis a erros, baseadas nas dificuldades de aprendizagem: (1) o cálculo matemático é um obstáculo na aprendizagem de vários conceitos em química; e (2) no conteúdo de estequiometria, o uso do raciocínio proporcional, igualmente, conduz o aluno ao erro, posto que os candidatos utilizam o algoritmo sem sua correta compreensão dos componentes da equação, apresentando a dificuldade do ponto de vista da sua leitura.

Considerações Finais

A fragmentação dos conteúdos no estudo das ciências tem sido apontada como um dos problemas que dificulta a compreensão dos fenômenos e processos do mundo físico e da natureza. Essa situação, por sua vez, limita substancialmente as possibilidades de poder pensar e agir na realidade sob a visão da complexidade ou holística, como aponta Capra (2004), em referência às necessidades não só para a produção, mas para o ensino e aprendizagem do conhecimento no século XXI.

Os resultados apresentados no estudo evidenciam os erros e dificuldades de aprendizagem de estudantes do Ensino Médio quando interpretam uma reação química como um sistema complexo. Nenhum estudante, dos 7.310, consegue justificar a importância de se integrar as

informações para se explicar porque as reações químicas acontecem. De forma parcial, alguns podem explicar as informações de maneira separada.

Essa situação está diretamente relacionada com uma tradição no ensino que não contribui com uma postura, para se olhar e compreender a complexidade dos sistemas químicos.

Entendemos como essencial a identificação e análise desses erros e dificuldades apresentadas pelos estudantes. Essas informações são relevantes quando tornam-se ferramentas de reflexão e de ação na busca pela melhora da aprendizagem da Química.

Referências

BRASIL. Ministério da Educação. **Orientações curriculares para o ensino médio (OCEM)**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (DCNEM)**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 1998.

CAAMAÑO, A., C.; MÁRQUEZ, C.; ROCA, M. El lenguaje de la ciencia. **Cuadernos de Pedagogía**, n. 330, p.76-80, 2003.

CAPRA, F. **A Teia da Vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. Trad. Newton R. Eicheberg. São Paulo: Cultrix, 2004.

CHILDS, P, SHEEHAN, M. What's difficult about chemistry? An irish perspective. **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 10, p. 204–218, 2009.

ECHEVERRÍA, A.R. Como os estudantes concebem a formação de soluções. **Química Nova na Escola**, n. 3, 1996.

FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. Revisión de investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de cantidad de substancia y Mol. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, p. 229-242, 2002.

FURIÓ, C.; FURIÓ, C. Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. **Educación Química**, v. 11, n. 3, 2000.

GALAGOVSKY, L. R. La enseñanza de la Química pre-universitaria: O qué enseñar, como, cuanta, para quienes; **Revista Química Viva**, n.1, p.8-23, 2005.

GARRITZ, A. La enseñanza de la química para la sociedad del siglo XXI, caracterizada por la incertidumbre. **Educación Química**, v. 21, n. 1, p. 2-15, 2010.

HESSE, J., ANDERSON, C. **Students' conceptions of chemical change**. Paper apresentado no encontro anual da American Educational Research Association, New Orleans, 1992.

IZQUERDO, A.M. Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelar. **The Journal of the Argentine Chemical Society**, v. 92, n. 4/6, p. 115-136, 2004.

JENSEN, W. Logic, History and the Chemistry Textbook III. One Chemical Revolution or Three? **Journal of Chemical Education**, v.75, n. 8, p. 961 – 969, 1998.

JOHNSTONE, A. Macro and microchemistry. **The School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982.

JOHNSTONE, A. H., New Stars for the Teacher to Steer By. **Journal of Chemical Education**, v. 61, n. 10, p.847-849, 1984.

JOHNSTONE, A. H. Chemical education research in Glasgow in perspective. **Chemistry Education**, v. 7, n. 2. p. 9-63, 2006.

- KERMEN, I.; MÉHEUT, M. Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French student's reasoning. **Chemistry Education**, v. 10, p. 24-34, 2009.
- KOZMA, R.; RUSSELL, J. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 43, p. 949-968, 1997.
- LAUGIER, A.; DUMON, A. The equation of reaction: a cluster of obstacles which are difficult to overcome. **Chemistry Education**, v. 5, n. 3, p. 327-342, 2004.
- LOPES, A.R.C. Reações Químicas. **Química Nova na Escola**. n. 2, 1995.
- MORIN, E. **Complexidade e transdisciplinaridade**: a reforma da universidade e do ensino fundamental. Natal: EDUFRRN, 1999.
- MORTIMER, R. F.; MIRANDA, L.C. Concepções dos estudantes sobre reações químicas. **Química Nova na Escola**, n. 2, p.23-26, 1995.
- NARDIN, C. S; SALGADO, T.D.M; DEL PINO, J.C. Análise de uma proposta de ensino de reações químicas entre compostos inorgânicos referenciada em mecanismos de reação. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, **Anais...** Bauru-São Paulo, 2005.
- NÚÑEZ, I. B. Sistema didáctico para la enseñanza de la química geral. **Tese**. Doutorado em Ciências Pedagógicas, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Ciudad Habana, 1992.
- NUÑEZ, B. I. La estructuración de los contenidos de la disciplina Química General: una nueva propuesta. **Química Nova**, v. 19, n. 5, p. 558-562, 1996.
- NUÑEZ, I. B.; GONZALEZ, P. O. Formación del a habilidad. Explicar propiedades de las sustancias: una nueva propuesta. **Química Nova**, v. 19, n. 6, p. 675-680, 1996.
- NÚÑEZ, I.B.; RAMALHO, B.L. **As provas de Química e de Biologia do Vestibular da UFRN**: estudo de erros e dificuldades de aprendizagem. Natal: EDUFRRN, 2012.
- POZO, J. I; GÓMEZ CRESPO, M. A. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Trad. Naila Freitas, 5 ed., Porto Alegre: Artmed, 2009.
- RESHETOVA, Z, A. **Análisis sistémico aplicado a la Educación Superior**. La Habana: CEPES, 1988.
- ROSA, M.I.F.P.; SCHNETZLER. S.R.P. Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, n. 8, 1998.
- SÁLMINA, N. G. **La actividad cognoscitiva de los alumnos y modo de construir la asignatura**. La Habana: CEPES, 1988.
- SILVA, L.E; SOUZA, F.L; MARCONDES, E.R. Transformações químicas e transformações materiais: um estudo das concepções de um grupo de estudantes do ensino médio. **Educação Química**, p.314-371, 2008.
- SOLSONA, N.; IZQUIERDO M. La conservación del elemento, una idea inexistente en el alumnado de Secundaria. **Alambique**, v. 17, p. 76-84, 1998.
- UEHARA, F.M.G. Refletindo dificuldades de aprendizagem de alunos do ensino médio no estudo de equilíbrio químico. **Dissertação**. Mestrado em Ensino de Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1995.