

ANALOGIAS NO ENSINO DE QUÍMICA

ANALOGIES IN THE CHEMISTRY TEACHING

João Eduardo Lucateli¹, Sônia Regina Giancoli Barreto²

¹Universidade Estadual de Londrina/Departamento de Química/Curso de Especialização em Química do Cotidiano na Escola, johneduardo@hotmail.com

²Universidade Estadual de Londrina/Departamento de Química/CCE, giancoli@uel.br

Resumo

Para o conteúdo ministrado sobre reagente limitante para alunos dos 1º e 3º anos foi proposto o problema “A reação química entre 4g de hidrogênio e 16g de oxigênio resultará em 18g de água?” 35% dos alunos responderam que a massa de água deveria ser 20g. Em seguida foi aplicada uma analogia na qual se associou o número de mol com número de alunos. Para 12 meninos e 18 meninas o professor solicitou a formação de equipes de 3 meninos e 2 meninas. Após a realização do problema real e constatado o excesso de meninas, o problema de química foi proposto novamente e todos acertaram, mostrando que a analogia foi eficiente. A dificuldade que os alunos do 3º ano tiveram inicialmente foi atribuída à aprendizagem mecânica deste conteúdo quando cursaram o 1º ano, devido à falta de demonstração visual que permite a conexão entre o real e o conceito químico.

Palavras-chave: analogia, modelo, reagente limitante, aprendizagem significativa.

Abstract

The subject on limiting reactant for 1st and 3th year of high school students was proposed as a question “The chemical reaction between 4g of hydrogen and 16g of oxygen will result in 18g of water?”; 35% of the students responded that the water mass would be 20g. After that, an analogy was applied associating the mol numbers to the student numbers. Among 12 boys and 18 girls, the teacher requested student teams with three boys and two girls. After the resolution of the actual problem, with the girl excess, the chemistry problem was proposed again and all students responded correctly shown that the analogy was effective. The initial difficulty presented by 3th year students was attributed to the mechanic learning of the subject in 1st year with the absence of visual demonstration connecting concrete observation and chemistry subject.

Keywords: analogy, model, limiting reactant, significant learning.

INTRODUÇÃO

Um meio possível de contribuir para o desenvolvimento educacional é o uso adequado da linguagem analógica que se processa partindo do concreto para o abstrato, do simples para o complexo, do conhecido para o desconhecido, da manipulação ativa para a simbologia (Nascimento, 1997).

Quando uma coisa é dita ser análoga à outra, implica que uma comparação entre suas estruturas é feita e a analogia é o veículo que expressa os resultados de tal comparação (Borges, 2004). As analogias constituem, portanto, uma ponte entre os aspectos observáveis do conhecimento existente e aspectos não observáveis do mundo natural que o cientista procura compreender. O estabelecimento de tais pontes contribui, assim, para tornar compreensíveis os fenômenos em estudo (Nascimento, 1997).

Em ciência devemos considerar modelos não só como representações de objetos, mas também de eventos, processos ou idéias, que se originam de uma atividade mental. (Gilbert e Boulter, 1995 apud Milagres e Justi, 2001). Sendo assim, podemos dizer que um modelo existe inicialmente como um modelo mental. O resultado de uma atividade mental não pode ser acessado diretamente, mas pode ser expresso através de ações, fala, escrita ou outra fórmula simbólica. Então, aquilo que se conhece por modelo mental é o que se chama de modelo expresso. Um modelo mental pode ser expresso através de desenhos, analogias, diagramas, gráficos, esquemas ou outra forma de linguagem que seja mais conveniente. No momento em que o modelo expresso é aceito por uma determinada comunidade de pessoas, ele se torna um modelo consensual (Milagres e Justi, 2001; Monteiro e Justi, 2004).

Na tentativa de facilitar o aprendizado de ciências são desenvolvidos modelos de ensino, que são normalmente apresentados na forma de objetos concretos, desenhos, analogias e simulações diversas. Estes modelos representam uma maneira de apresentar um modelo consensual e não simplesmente uma simplificação do mesmo (Milagres e Justi, 2001).

Sendo a analogia definida como uma comparação baseada em similaridades entre estruturas de dois domínios diferentes, para que esta seja um modelo de ensino útil é necessário que ela contenha um conteúdo familiar aos alunos e um outro que é desconhecido por eles. O conteúdo familiar é chamado domínio da analogia e o conteúdo desconhecido de domínio alvo. Além de o domínio ser familiar, é necessário que o alvo seja suficientemente difícil para que os alunos utilizem a analogia como estratégia cognitiva (Monteiro e Justi, 2004).

É interessante ressaltar que para a utilização de qualquer analogia, é importante que o professor discuta com os alunos quais são suas limitações, a fim de prevenir a ocorrência de entendimentos não adequados.

Muitos alunos trazem para a sala de aula idéias alternativas relacionadas ao conceito em estudo, que o professor não deve desprezar. Este aspecto quando ignorado, pode levar os alunos a rejeitar ou não compreender uma analogia potencialmente útil, por esse motivo, os conceitos selecionados do domínio familiar devem ser claramente compreendidos pelos alunos (Nascimento, 1997).

A explicação da maioria dos conceitos em química é dada, fundamentalmente, a partir de uma análise a nível microscópico, requerendo um nível mínimo de abstração para a sua aprendizagem. Desta forma, grande parte dos alunos, inclusive do ensino médio, apresenta dificuldades para compreender um novo conteúdo, adquirindo noções conceituais errôneas que se propagam até a Universidade (Hartwig e Rocha Filho, 1988).

A estequiometria é um dos tópicos mais trabalhosos para ensinar no ensino médio. Os alunos têm que conhecer as equações químicas, balanceamento e reagente limitante. Para resolver problemas envolvendo cálculo estequiométrico, os alunos utilizam operações matemáticas básicas. Entretanto, o vocabulário químico associado a essas operações pode impedir que os alunos apliquem seus conhecimentos matemáticos aos fenômenos químicos

(Haim et al, 2003).

O presente trabalho tem por objetivo relatar a aplicação de uma analogia, retirada do periódico *Journal of Chemical Education*, para a aprendizagem do conteúdo de estequiometria e do conceito de reagente limitante, com alunos do 1º e 3º anos do ensino médio, visando avaliar seu potencial instrucional.

REVISÃO DA LITERATURA

O periódico *Journal of Chemical Education* possui uma seção sobre analogias aplicadas como material instrucional. A seguir serão apresentadas algumas analogias que foram escolhidas pela sua facilidade de aplicação no ensino médio de escolas brasileiras.

2.1 Estudo da Variação do pH em uma Titulação de Ácido Fraco com Base Forte

Last (2003) aplicou uma analogia que utiliza unidades monetárias para o estudo da variação do pH de uma titulação com ácido fraco e base forte. O ácido utilizado foi o ácido acético e a base, o hidróxido de sódio.

O estudo quantitativo foi sobre a questão do número de mol em 50 mL de ácido acético 0,100 mol/L que reage com hidróxido de sódio 0,100 mol/L exatamente no ponto de equivalência da reação. Os 5×10^{-3} mol de ácido acético presente inicialmente, é convertido em íon acetato, este, porém, volta a se hidrolisar, convertendo-se a ácido acético, liberando íon hidróxido e estabelecendo-se, portanto, o equilíbrio. A quantidade de íon acetato hidrolisado no ponto de equivalência será de $(2,5 \times 10^{-3} - x)$ mol e a quantidade de ácido acético não hidrolisado será de $(2,5 \times 10^{-3} + x)$ mol.

O método da aproximação assume que x é bem menor do que $2,5 \times 10^{-3}$, dessa forma, a concentração de ácido acético é conseqüentemente igual à concentração de íons acetato e da substituição na equação:

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]}$$

mostra que $K_a = [\text{H}^+]$ e, conseqüentemente, que o pH da solução é igual ao $\text{p}K_a$ do ácido acético.

$$\text{p}K_a = -\log_{10}[K_a] = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

A analogia aplicada para a aprendizagem do método da aproximação em uma titulação, foi baseada na política varejista que muitos estudantes estão habituados em seu cotidiano.

A situação monetária compara-se ao processo de compra de pneus com cartões de crédito. O cliente entra na loja com 50,00 unidades monetárias para adquirir um pneu que custa 25,00 unidades. É cobrada uma taxa de 2% sobre o valor da compra, que será convertido em bônus para ser gasto em uma nova compra em outra loja conveniada ao cartão.

O valor de 25,00 é análogo a $2,5 \times 10^{-3}$ mol de ácido acético 0,100 mol/L que é consumido no ponto de equivalência desta titulação com 50 mL de hidróxido de sódio 0,100 mol/L. Com este valor de compra, a taxa a ser cobrada será de 0,50 unidade monetária. Como esta quantia é razoavelmente pequena se comparada ao valor da compra, os estudantes compreendem que não será necessário levar em conta esta taxa. Sendo assim, os 2% cobrados correspondem, analogamente, ao restante de íon acetato que foi hidrolisado a ácido acético na solução. Portanto, a quantidade de íon acetato hidrolisado também é insignificante comparado ao número de mol inicial de ácido acético.

O autor conclui seu artigo neste periódico, apontando que a variedade das transações financeiras com que os estudantes estão familiarizados todos os dias, fornece uma fonte valiosa de analogias que podem ser usadas para ajudar a explicar conceitos químicos.

Variação Periódica dos Raios Atômicos

Pinto (1998) utilizou bolas de diferentes esportes para demonstrar a variação periódica dos raios atômicos. Preocupado principalmente com as medidas muito pequenas dos raios, o autor demonstra que esta analogia é fundamental na aprendizagem deste conceito.

Uma forma de ilustrar esta variação do tamanho atômico seria recortar círculos de papel de diferentes tamanhos, mas existe um erro conceitual neste caso: os estudantes estariam observando círculos, sendo que átomos são esféricos. Portanto, esta analogia refere-se às bolas usadas em sete esportes diferentes: tênis de mesa, tênis, beisebol, handebol, voleibol, futebol e basquetebol. Para cada esporte mencionado, o valor dos raios das bolas é uma média entre os valores permitidos. Sendo assim, os estudantes compreendem tabelas que apresentam os raios atômicos, sendo um valor médio baseado em distâncias interatômicas entre moléculas diferentes.

O professor apresenta inicialmente a esfera menor (de tênis de mesa), abordando que ela seja a do elemento de menor raio da tabela periódica, o hidrogênio. Partindo desta definição e auxiliados pelos raios atômicos tabelados, os alunos devem encontrar o átomo mais similar à esfera escolhida, respeitando um desvio proporcional de 5%.

No final desta atividade, os alunos percebem que a bola de tênis não corresponde a nenhum átomo, e que os átomos que mais se assemelham a estas esferas são: hidrogênio (tênis de mesa), flúor (beisebol), cálcio (handebol), estrôncio (voleibol), potássio (futebol) e céσιο (basquetebol).

A analogia ainda favorece alguns efeitos que devem ser debatidos em sala de aula, como por exemplo: a típica tendência de crescimento dos raios atômicos de uma mesma família, como na IA (potássio e céσιο) e o hidrogênio, IIA (cálcio e estrôncio) ou de um mesmo período, como no quarto (potássio e cálcio).

Como conclusão, o autor identifica uma limitação desta analogia. Ele diz que os raios atômicos não possuem exatamente um limite como numa esfera, eles são definidos arbitrariamente pela maneira como o átomo interage com outros que estão ao seu redor. O professor terá total certeza de que a analogia foi compreendida se esta identificação partir dos alunos; caso contrário, ele mesmo deve fazer a observação.

Abordagem Quantitativa e Dinâmica do Equilíbrio Químico

Garriz (1997) discutiu quantitativamente o equilíbrio químico, utilizando como analogia uma linha que é pintada e apagada como se fosse uma competição.

Um habitante decide pintar uma linha na estrada de cem metros que liga sua cidade a uma outra. O pintor inicia, mas deixa a lata de tinta no início da linha, onde cada vez que ele necessita de molhar o pincel, deve retornar ao início. Na outra extremidade desta estrada, está um habitante da cidade vizinha que remove pinturas, mas ele também deixa a lata de solvente em sua cidade e toda vez que sua esponja removedora fica seca, retorna para molhá-la e continuar apagando a pintura. Haverá um momento em que a taxa de avanço do pintor e do removedor irão se igualar. Para esta taxa, onde a distância que cada um percorreu desde seu ponto de partida é proporcional ao tempo gasto, dá-se o nome de velocidade.

Os estudantes aceitam que o ponto de equilíbrio está no momento em que ambos se encontram, além de compreenderem que, quando as velocidades de pintura e remoção são iguais, atinge-se o equilíbrio.

Esta analogia ainda demonstra que o equilíbrio é dinâmico, pois se ambos tiverem a mesma habilidade e a mesma velocidade, o equilíbrio irá acontecer exatamente na metade da estrada. Por outro lado, se o pintor for mais habilidoso do que o removedor, a pintura avançará

mais rápida e o removedor terá que compensar esta diferença.

O autor conclui este artigo fazendo a analogia entre a ação do pintor sendo os reagentes e o removedor, os produtos, além de discutir esta relação com a concentração dos componentes numa reação reversível, cujo equilíbrio é perturbado quando estas concentrações aumentam ou diminuem, portanto, se a ação removedora for mais eficiente ou habilidosa, o pintor deverá aumentar também sua eficiência para compensar e retornar ao equilíbrio.

Propriedades dos Estados Físicos da Matéria

Fortman (1993) aplicou uma analogia sobre os estados da matéria, abordando o dinamismo de seus átomos ou moléculas.

Os estados físicos estudados foram: o sólido, o líquido e o gasoso. A analogia propõe que o estado sólido seja comparado a uma unidade militar, com suas propriedades de rigidez, distância pequena entre os componentes, nenhuma desordem e nenhum movimento aleatório. O estado líquido é análogo a uma festa, onde os componentes possuem distância pequena entre eles, muita desordem, fluidez e alguns movimentos aleatórios. Os gases são comparados a um jogo de futebol, com distâncias grandes entre seus participantes, desordem alta, movimento aleatório e caótico e difusão.

A analogia aplicada para os sólidos como sendo uma unidade militar é de grande aceitação pelos alunos por conhecerem esta situação. Cada soldado tem uma posição fixa e distância bem próxima aos outros. Da mesma forma aplica-se aos líquidos, pois numa festa, as pessoas ainda estão próximas, mas possuem movimentos aleatórios, além da orientação e da posição mudarem constantemente. Para os gases, o exemplo da partida de futebol mostra que as moléculas se movimentam rapidamente a distâncias muito maiores e posições variáveis.

O autor demonstra neste artigo algumas limitações. Nos estados sólido e líquido, por exemplo, os alunos devem ser avisados que as moléculas ou átomos estão realmente se tocando e não possuem espaços intermediários.

Os alunos perceberão que esta analogia ilustra três substâncias diferentes de três quantidades diferentes, por isso os sólidos relacionam-se a uma amostra de ferro, os líquidos a uma quantidade maior de água líquida e os gases a uma quantidade bem menor de gás cloro. Se os alunos relacionarem os estados à mesma substância na mesma quantidade, como, por exemplo, gelo, água líquida e vapor de água, então o fato de que as três substâncias diferentes e em quantidades diferentes expostas no exemplo, poderia lhes conduzir a conclusões incorretas e violações da lei da conservação da matéria.

O autor conclui que prefere ilustrar em forma de desenhos as suas analogias, pois acredita que isso facilita a aprendizagem, a recordação do conceito, além de desenvolver nos alunos a capacidade de expressão de fatos microscópicos para algo mais observável, como as ilustrações.

APLICAÇÃO DE ANALOGIA EM SALA DE AULA

A analogia escolhida para aplicação em sala de aula como material instrucional foi sobre o conteúdo: Estequiometria – Reagente Limitante.

Como base para este desenvolvimento, foi utilizado o artigo, intitulado “Reagente Limitante, uma Analogia Alternativa” (Tóth, 1999).

Metodologia

As duas turmas escolhidas para a aplicação deste método foram o primeiro e o terceiro ano do Ensino Médio, do Colégio Recanto Dom Bosco, na cidade de Cornélio Procópio, estado

do Paraná, no ano letivo de 2004. Os alunos do 1º ano foram escolhidos pois o professor tinha terminado de ministrar o conceito de cálculo estequiométrico e iria começar abordar o conceito de reagente limitante e a escolha pelos alunos do 3º foi porque este assunto já havia sido ministrado quando eles cursaram o 1º ano, isto é para os alunos do 3º ano desta escola, os conteúdos abordados são na realidade uma revisão de conteúdos do programa de química para o ensino médio.

Para as duas turmas citadas, foi colocada a seguinte afirmação no quadro de giz: “A reação química entre 4 gramas de hidrogênio e 16 gramas de oxigênio resultará em 18 gramas de água.” E ainda foi perguntado aos alunos se esta afirmação era verdadeira ou falsa.

Dentre os 30 alunos presentes na sala de aula, aproximadamente 35% deles responderam que a massa produzida não seria 18 g e sim 20 g. Desta porcentagem, verificou-se que a grande contribuição para tal número foi por parte dos alunos do terceiro ano.

Após estas constatações, foram formados dois grupos: um com 12 meninos e outro com 18 meninas. Após a formação dos grupos, foi sugerido que formassem times compostos por três meninos e duas meninas, como se fossem para uma competição esportiva.

No transcorrer da formação dos times, houve grande discussão sobre a falta de meninos e a sobra de meninas para a composição de mais grupos competitivos. Alguns alunos sugeriram a formação de times exclusivamente femininos. O professor negou esta sugestão, justificando que meninos e meninas são os reagentes e cada time é um produto, portanto um time exclusivamente feminino não compõe um time, ou seja, não formam produto.

A proposta de meninos e meninas formarem um time, respeitando a quantidade de componentes, fez com que os próprios alunos chegassem ao fato de estar ocorrendo uma reação química. Então, o professor os fez perceber que a falta de meninos limitava a formação de novos times e por isso denominou-os de Reagente Limitante.

Como já foram abordados os conceitos de reações químicas, estequiometria e reagente limitante, o professor citou também que, para a formação do produto, era preciso apenas conhecer a quantidade de componentes de cada time e não da massa de cada um. Introduzindo, assim, o conceito de quantidade de matéria, o mol.

O conceito de mol não foi abordado com tanta ênfase, visto que os alunos já são familiarizados com este conteúdo, pois o conceito de Reagente Limitante é apresentado após as noções básicas de estequiometria que inclui a definição de mol.

Esta analogia está diretamente relacionada com fórmulas e reações químicas, por isso, para escrever a formação dos times em simbologia química, foram utilizados B e G, para meninos e meninas respectivamente. Sendo assim, cada time formado deve ser composto por três meninos e duas meninas, simbolizados por B_3G_2 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o número de meninas disponível, consegue-se formar nove equipes ($18 : 2 = 9$). Entretanto, para formar nove times são necessários vinte e sete meninos ($9 \times 3 = 27$) e não há tantos meninos. Assim, o número de meninas não pode determinar o número de equipes, mas se o de meninas não pode, o de meninos devem determinar!

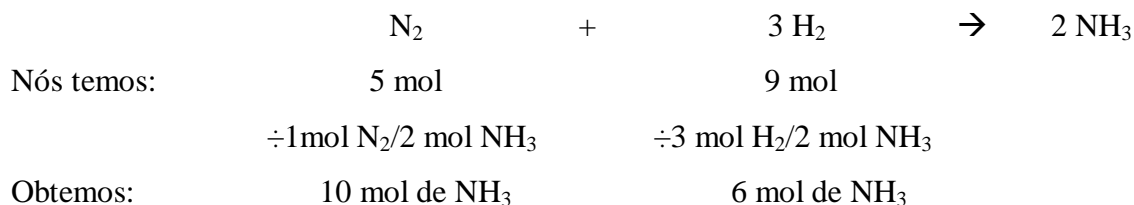
O processo de formação das equipes pode ser escrito como o seguinte:

Note que este procedimento fornece duas espécies de informações: primeiro, a

	3 B	+	2 G	→	B_3G_2
Nós temos:	12 meninos		18 meninas		
	$\div 3$ meninos/time		$\div 2$ meninas/time		
Obtemos:	4 times		9 times		

quantidade de “produto” que pode ser produzida (4 equipes), e em segundo, o “reagente limitante” (meninos).

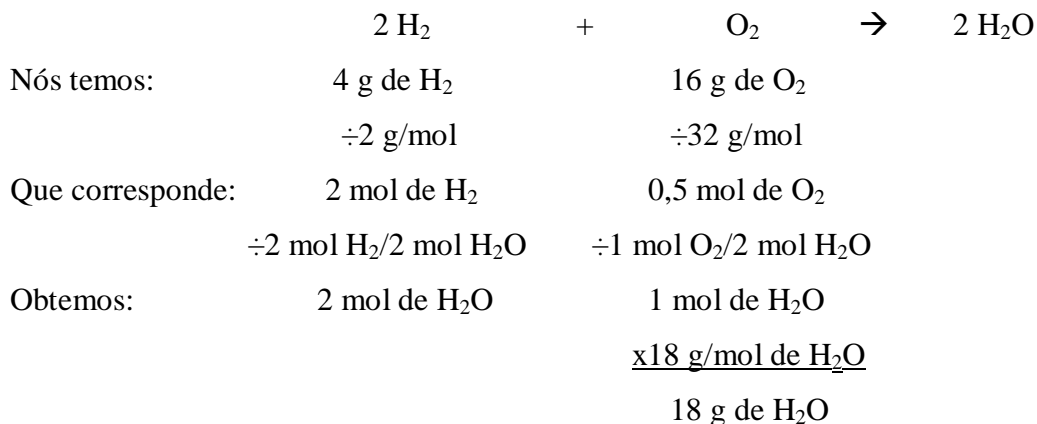
Depois desta analogia, o professor apresentou o seguinte exemplo químico: “Quantos mol de amônia serão obtidos pela reação de 5 mol de nitrogênio com 9 mol de hidrogênio?”



A solução é similar ao problema anterior.

Desenvolvendo o conceito de reagente limitante, o professor reforçou que a analogia relaciona o número de meninos e meninas com o número de mol de reagentes e não à massa dos reagentes. Se o problema apresentasse a massa (gramas) dos reagentes, devia convertê-la a mol antes da identificação do reagente limitante. Este é o caso do problema químico apresentado na introdução deste assunto:

Assim, a indicação original é verdadeira.



A aplicação de analogias deve ser cautelosa, pois geralmente estas apresentam algumas limitações. Isso pode ser observado na analogia escolhida para a pesquisa deste trabalho, no qual a determinação do número de mol não levou em consideração a massa dos participantes. Este exemplo fornece uma análise qualitativa de uma analogia, ou seja, o professor deve promover a discussão das limitações para que não ocorra qualquer possibilidade de entendimentos não adequados pelos alunos.

Uma analogia com demonstração visual auxilia os alunos no entendimento de um conceito ministrado em sala de aula e a lembrança deste conceito em situações futuras (Fortman, 1992). A justificativa para a quantidade de alunos do terceiro ano não ter resolvido o problema com êxito, é a provável aprendizagem meramente mecânica que foram submetidos no início dos estudos sobre a química no ensino médio, isto é a falta de uma demonstração visual que permite a conexão entre o concreto e o conceito químico investigado. Esta conexão pode auxiliar o aluno a relembrar uma informação em um momento futuro.

CONCLUSÃO

As analogias são estratégias de extrema importância para promover a aprendizagem significativa dos alunos. O professor, quando preparado, possui total segurança para utilizar este argumento capaz de abordar conceitos e fundamentos químicos. Esta metodologia de ensino apresenta como principal característica a facilidade com que os alunos absorvem conteúdos ainda abstratos.

É benéfico tanto para o aluno quanto para o educador o apoio e incentivo que as analogias transmitem ao serem aproveitadas como materiais instrucionais. A ligação entre o abstrato e o concreto é feita com inúmeras vantagens, promovendo interdisciplinaridade e integração entre os alunos, além de fornecer subsídios para a compreensão de um assunto novo.

O alcance do conceito alvo é muitas vezes mais rápido e eficaz com o auxílio das analogias, conduzindo os alunos a uma situação cotidiana e conhecida. É de extrema satisfação para o professor promover a aprendizagem significativa de seus alunos, visto que o sucesso, quando atingido, transmite a confiança de que o argumento ou método utilizado foi válido e motivante, notoriamente observado através de analogias.

REFERÊNCIAS

- Borges, A. Tarciso. Um Estudo de Modelos Mentais. Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/borges.htm>>. Acesso em: 11 maio 2004.
- Fortman, John J. Analogical demonstrations. *Journal of Chemical Education*, vol. 69, n. 4, p. 323-324, abril. 1992
- Fortman, John J. Pictorial Analogies I: States of Matter. *Journal of Chemical Education*, vol. 70, n. 1, p. 56-57, jan. 1993
- Garriz, Andoni. The Painting-Sponging Analogy for Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, vol. 74, n. 5, p. 544-545, maio 1997.
- Haim, Liliana et al. Learning Stoichiometry with Hamburger Sandwiches. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, n. 9, p. 1021-1022, set. 2003.
- Hartwing, Dácio R.; ROCHA-FILHO, Romeu C. Experiências e Analogias Simples para o Ensino de Conceitos em Química: III – Resultados da Aplicação de uma Visualização para a Deposição Metálica Espontânea. *Química Nova*, São Paulo, vol. 11, n. 2, jul. 1988.
- Last, Arthur M. Canadian Tire Money: An Analogy for Use When Discussing Weak Acid-Strong Base Titrations. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, n. 12, p. 1403, dez. 2003.
- Milagres, Vânia S. O.; JUSTI, Rosária S. Modelos de Ensino de Equilíbrio Químico. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 13, p. 41, maio 2001.
- Monteiro, Ivone Garcia; JUSTI, Rosária S. Analogias em Livros Didáticos de Química Brasileiros Destinados ao Ensino Médio. Belo Horizonte, 2004. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n2/v5_n2_a1.htm>. Acesso em: 11 maio 2004.
- Nascimento, Ana Cláudia. A Linguagem Analógica no Discurso Pedagógico do Ensino da Química. In: Seminário sobre metodologia de investigação em didática, 1997, Aveiro. Disponível em: <<http://www.geocities.com/CapitolHill/Senate/5486/linguagem.html>>. Acesso em: 30 ago. 2004.
- Pinto, Gabriel. Using Balls from Different Sports to Model the Variation of Atomic Sizes. *Journal of Chemical Education*, vol. 75, n. 6, p. 725-726, jun. 1998.
- Tóth, Zoltán. Limiting Reactant: An Alternative Analogy. *Journal of Chemical Education*, vol. 76, n. 7, p. 934, jul. 1999.