

UM ESTUDO DAS ANALOGIAS SOBRE EQUILÍBRIO QUÍMICO NOS LIVROS APROVADOS PELO PNLEM 2007

Wilmo Ernesto Francisco Junior*¹
Aline Araújo Dias Barros**
Viviane Martins Garcia***
Ana Carolina Garcia de Oliveira****

RESUMO: Este artigo descreve uma análise crítica das analogias apresentadas para o tópico de equilíbrio químico pelos livros de Química aprovados pelo PNLEM 2007. Foram localizadas oito analogias, sendo uma delas repetida. Cinco dessas analogias estão presentes num único livro, enquanto outros três possuem uma analogia cada. Não foram identificadas analogias em dois dos seis livros. Quatro analogias podem favorecer a compreensão de importantes aspectos microscópicos do equilíbrio químico, não ignorando as limitações associadas, as quais também tentaram ser aqui apresentadas. Todavia, as outras quatro analogias, por se configurarem demasiadamente simples e desconsiderarem aspectos microscópicos essenciais, não facilitam a aprendizagem de aspectos envolvidos no equilíbrio químico, podendo dificultar ainda mais sua compreensão. Isso não impede, entretanto, que analogias sejam utilizadas de formas ulteriores, como na função avaliativa.

Palavras-chave: Analogias; Equilíbrio Químico; Livros Didáticos.

A STUDY OF THE ANALOGIES ABOUT CHEMICAL BALANCE IN TEXTBOOKS APPROVED BY PNLEM 2007

ABSTRACT: This paper performs a critical analysis of the analogies presented to illustrate the chemical balance topic in high school chemistry textbooks approved by PNLEM 2007. Eight analogies were detected, one of which was repeated. Five analogies are present in a single textbook, while three of the textbooks presented just one analogy. Two textbooks contained no analogies. Four analogies can be handy to understand important microscopic aspects about chemical balance, but evidence certain limitations, which this paper discusses. Nevertheless, the other four analogies are very simple and do not consider essential microscopic aspects. Therefore, these analogies can make chemical balance difficult to be learned. However, simple analogies can be used in other ways, such as means for evaluation.

Keywords: Analogies; Chemical Balance; Textbooks.

*Doutor em Química (tese em Educação Química) pelo Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Professor do Departamento de Química da Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Coordenador do PIBID/CAPES/UNIR.
E-mail: wilmojr@bol.com.br

**Licencianda em Química pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Bolsista do PIBID/CAPES.
E-mail:

aline.a.d.barros@hotmail.com
***Licencianda em Química pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Bolsista do PIBID/CAPES.
E-mail:

vivianexxi@gmail.com
****Doutoranda em Educação pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professora do Departamento de Química da Universidade Federal de Rondônia UNIR. Colaboradora do PIBID/CAPES/UNIR.
E-mail:

acgdeoliveira@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Ciências e, especificamente o de Química no contexto desse trabalho, torna-se diferenciado, haja vista a maior parte de seus conceitos serem abstratos, necessitando, portanto, de uma modelização em nível mental para que ocorra sua assimilação. Segundo Jonhstone (2000), essa modelização mental, sobretudo acerca do nível microscópico, “[...] é a força de nossa disciplina como atividade intelectual, e a fraqueza de nossa disciplina quando tentamos ensiná-la, ou o mais importante, quando os estudantes tentam aprendê-la.” (JONHSTONE, 2000, p. 11).

Um desses conceitos que exige forte nível de teorização e modelização mental é o equilíbrio químico. Para Raviolo e Garritz (2008), os aspectos mais abstratos do equilíbrio químico são sua natureza dinâmica, a diferenciação entre situações de não equilíbrios e situações de equilíbrio, a manipulação mental do princípio de Le Chatelier e algumas considerações sobre a energia do processo. Por sua vez, Souza e Cardoso (2008) apontam que a aprendizagem do equilíbrio químico requer conhecimento prévio de alguns conceitos, tais como: soluções, ligações e reações químicas, cinética, termoquímica e estequiometria. Porém, nem todo aluno dispõe desses conhecimentos, o que os leva, no momento da aprendizagem de equilíbrio químico, a pensá-lo como algo estático, similarmente ao equilíbrio do andar de bicicleta ou de uma balança (MACHADO; ARAGÃO, 1996). Outra dificuldade é a “manipulação mental” do caráter dinâmico em que partículas de reagentes e produtos coexistem em um sistema fechado, sujeitos a colisões constantes (SOUZA; CARDOSO, 2008).

Machado e Aragão (1996) também acenam a dificuldade em entender a diferença do que é igual para o que é constante no equilíbrio químico. Em geral, os alunos tendem a pensar que as concentrações e quantidades de reagentes são iguais ao invés de constantes. A visão de que reagentes e produtos encontram-se separados ou compartimentados também é comum (RAVILOLO; GARRITZ, 2008).

As dificuldades descritas acima tornam difícil a explicação e a compreensão do equilíbrio químico, o que conduz professores e autores de livros didáticos a empregarem, com frequência, analogias para o estudo deste tópico. Pesquisas como as de Raviolo e Garritz (2008) e de Francisco Junior (2009), as quais investigaram a presença de analogias em livros didáticos de Química, revelam a presença de analogias para o tal assunto.

O uso de analogias está enraizado no cotidiano e mesmo no próprio ato de cognição humana. As analogias, em geral, configuram-se numa comparação entre dois eventos: um que se pretende explicar e, portanto, desconhecido, e o já conhecido e que servirá de referência. Pádua (2003) sublinha que nos primeiros meses de vida já se pode verificar a capacidade dos bebês em concatenar ritmos a estímulos visuais. Por outro lado, como apresenta Francisco Junior (2009), o conceito de analogia é amplo e, às vezes, as definições não são con-

fluentes. O que é classificado como analogia por um determinado autor pode não ser por outro. Genericamente, a analogia pode ser compreendida como uma comparação na qual se pode conhecer um fenômeno desconhecido mediante o estabelecimento de correspondências com o fenômeno já conhecido. Ainda assim, como reporta Francisco Junior (2009), desvela-se a necessidade de elucidar a analogia como:

[...] um processo cognitivo pelo qual, a partir da identificação das semelhanças entre dois conceitos, é possível fazer inferências sobre o conceito menos conhecido e prever os aspectos não correspondentes entre ambos. [...]. Em outras palavras, a analogia é uma forma de pensar, com a qual se pode conhecer um fenômeno desconhecido a partir do estabelecimento de correspondências com o fenômeno já conhecido. [...]. Mas, ao mesmo tempo, [...] são parte integrantes da comunicação humana, isto é, são dispositivos da linguagem. [...]. Portanto, pode-se ainda distinguir a analogia enquanto um instrumento para [...] facilitar o entendimento de algo a alguém. (FRANCISCO JUNIOR, 2009, p. 124)

Vale ainda enfatizar que, no presente trabalho, será denominado de *conceito alvo* aquele que se quer aprender (ensinar), e de *conceito análogo* aquele que servirá de subsídio no alcance ao primeiro.

Delimitado o conceito de analogia aqui assumido, é fundamental destacar que também não há consenso sobre a real contribuição desse recurso em termos de aprendizagem. O uso de analogias está relacionado às diversas competências cognitivas tais como percepção, imaginação, criatividade, memória, resolução de problemas além do desenvolvimento conceitual (FRANCISCO JUNIOR, 2009; 2010). Entretanto, Duit (1991), por exemplo, considera a analogia como uma faca de dois gumes. Elas funcionam bem quando as semelhanças predominam, e tendem a falhar quando as diferenças começam a prevalecer. Esta última situação torna-se preponderante quando do uso de analogias de forma espontânea, o que em geral ocorre sem a delimitação das partes que estão sendo comparadas, assim como das limitações dessas comparações. De tal maneira, os alunos podem levar a analogia longe demais e fazer comparações incorretas dos atributos (MONTEIRO; JUSTI, 2000). Por conseguinte, é mais provável que o uso espontâneo das analogias, ao invés de ajudar, provoque o entendimento equivocado do conceito alvo.

Assumindo que muitas das analogias empregadas espontaneamente em sala de aula provêm de livros didáticos, além do próprio fato de alunos lerem os livros, a análise dessas analogias em livros de Química adquire relevância sob o ponto de vista de uma discussão crítica acerca de sua inserção no processo de ensino-aprendizagem. Diante de todas as questões supracitadas, sobretudo as dificuldades do conceito de equilíbrio químico e o uso recorrente de analogias para este tópico em livros didáticos, neste artigo foi feita uma análise das analogias sobre equilíbrio químico encontradas nos livros aprovados pelo PNLEM 2007 (Programa Nacional do Livro Para o Ensino Médio – 2007). O intuito não

é sinalizar virtudes ou falhas nos livros analisados, mas sim promover discussões epistemológicas críticas das analogias identificadas, almejando contribuir para o seu uso ou não em sala de aula. Assim, intenta-se responder duas questões principais: As analogias empregadas para o tópico de equilíbrio químico são potencialmente promissoras para a aprendizagem? Quais os cuidados e as formas mais adequadas para introduzi-las em sala de aula?

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A despeito da grande diversidade de livros didáticos de Química para o Ensino Médio, a escolha pelos livros aprovados pelo PNLEM foi infundida pelas recentes políticas públicas de distribuição dessas obras para todo o território nacional. Dado o amplo acesso de alunos e professores a esses materiais, bem como seu suposto uso nas instituições escolares durante três anos, parece razoável analisar distintos motes das obras aprovadas. Os seis livros analisados receberam códigos de identificação para facilitar a discussão (A, B, C, D, E e F).

Inicialmente, foi conduzida a leitura dos capítulos de equilíbrio químico no intuito de identificar as analogias presentes. Na identificação das analogias foi considerada a definição apresentada anteriormente (uma comparação na qual se pode conhecer um fenômeno desconhecido mediante o estabelecimento de correspondências com o fenômeno já conhecido), ou algum tipo de identificação da analogia, caracterizada por expressões do tipo: *fazendo uma analogia, assim como, se parece com, pode ser comparada*, entre outras.

Após a identificação, as analogias foram classificadas em nove categorias, de acordo com Francisco Junior (2009) que adaptou as categorias de Thiele e Treagust (1994): (i) Quantidade das analogias; (ii) Conceito alvo (sub-tópico do equilíbrio químico); (iii) Tipo de relação analógica entre análogo e alvo; (iv) O nível de abstração dos conceitos análogo e alvo; (v) O nível de enriquecimento da analogia; (vi) A posição da analogia em relação ao alvo; (vii) Formato da apresentação; (viii) O nível de mapeamento feito pelo autor e (ix) Apresentação e discussão de limitações.

O primeiro e o segundo item se referem respectivamente à quantidade de analogias encontradas nos capítulos de equilíbrio químico e ao sub-tópico ou conceito alvo. A terceira categoria verifica se análogo e alvo compartilham aspectos estruturais, funcionais ou ambos. A relação estrutural está relacionada à aparência física geral, enquanto a relação funcional remete ao comportamento do sistema. O nível de abstração (item iv), por sua vez, indica se os conceitos comparados no análogo e alvo são concretos e/ou abstratos. A categoria subsequente (item v) analisa o nível de enriquecimento. As analogias podem ser classificadas em simples, enriquecidas ou estendidas. As analogias simples ocorrem quando um único atributo (aspecto) é compartilhado entre alvo ou análogo; nas enriquecidas as analogias compartilham mais de um atributo e nas estendidas são

usadas mais de uma analogia para explicar o alvo, ou a analogia é modificada para contemplar outro atributo. Na sexta categoria as analogias foram classificadas em verbais ou ilustrativas-verbais, sendo a primeira descrita unicamente por texto e a segunda quando uma imagem representando o análogo é acompanhada de texto. A posição da analogia (antes, após, durante ou a margem do alvo) também foi considerada (item vii). A oitava categoria discute o nível de mapeamento entre os conceitos alvo e análogo, bem como se o(s) autor(es) debate(m) os atributos correspondentes entre os conceitos. A última categoria verifica se há a apresentação de limitações para a analogia.

A partir das categorias expostas acima e apoiando-se no extenso referencial teórico sobre analogias no ensino de Ciências, destacando-se os trabalhos de Curtis e Reigeluth (1984), Duit (1991), Thiele e Treagust (1994), Dagher (1995), Monteiro e Justi (2000), Oliva *et al* (2001), Raviolo e Garritz (2008) e Francisco Junior (2009; 2010), foram conduzidas reflexões epistemológicas acerca das potencialidades, limitações e possibilidades de uso das analogias identificadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A leitura das obras indicou a presença de oito analogias nos capítulos de equilíbrio químico. A Tabela 1 apresenta uma breve descrição dos conceitos comparados (análogo e alvo). As analogias são identificadas pelo código correspondente ao livro no qual foi localizada (A, B, C, D, E ou F) e por um índice subscrito que indica a sequência de analogias em cada um dos livros.

Tabela 1 – Breve descrição dos conceitos análogo e alvo das analogias encontradas.

Analogia	Alvo	Alvo
A1, D2	Pessoa andando numa esteira	Velocidade das reações direta e inversa
B1	Redução da pressão e da solubilidade do gás na garrafa de refrigerante	Deslocamento do equilíbrio para esquerda e direita
C1	"Guerra" das mamonas	Quantidade de produto e reagente, caráter dinâmico e velocidade da reação
D1	Evaporação e condensação da água	Igualdade da velocidade das reações
D3	Trecho percorrido de uma estrada	Grau de equilíbrio
D4	Boneco do tipo João-Teimoso	Deslocamento do equilíbrio
D5	Vaso comunicante	Deslocamento do equilíbrio

Pode-se observar que cinco dessas analogias estão presentes em um único livro, enquanto outras três obras possuem uma analogia cada. Não foram identificadas analogias para o tema equilíbrio químico em dois dos seis livros. Apenas uma das analogias verificadas (pessoa andando numa esteira – velocidade das reações direta e inversa) repetiu-se (livro A e D).

Um dos principais aspectos a serem considerados na seleção de uma analogia é a sua familiaridade para os alunos; em outras palavras, os alunos necessitam compreender o análogo para compreender o conceito alvo. Por esta

razão, o conceito análogo deve, sempre, ser mais acessível do que o conceito alvo, isto é, exige uma relação direta, mais compreensível e mais cotidiana com os alunos. Nesse sentido, todas as analogias identificadas parecem contemplar tal requisito, uma vez que trazem como análogos conceitos próximos à realidade da maior parte dos estudantes. Ao mesmo tempo, o fato de 7 das 8 analogias (Tabela 2) serem do tipo concreta-concreta as tornam potencialmente mais familiar aos estudantes.

Isso não significa, por outro lado, que tais situações possam ser facilmente compreendidas pelos estudantes e que estes sejam capazes de transpor as similaridades entre análogo e alvo. O simples conhecimento daquilo que está sendo comparado não conduz imediatamente a formulação de um conceito. Todo conceito ao ser formulado, tanto na história da Ciência como na estrutura cognitiva do aluno, passa por uma série de modificações e aperfeiçoamentos. Para tanto, outros aspectos carecem de análise.

Tabela 2 – Classificação das analogias segundo o tipo de relação analógica, o nível de abstração e o nível de enriquecimento.

Analogia	Relação analógica	Nível de abstração	Nível de enriquecimento
A1	Funcional	Concreta-abstrata	Simple
B1	Estrutural-Funcional	Concreta-abstrata	Enriquecida
C1	Funcional	Concreta-abstrata	Enriquecida
D1	Estrutural-Funcional	Abstrata-abstrata	Enriquecida
D2	Funcional	Concreta-abstrata	Simple
D3	Funcional	Concreta-abstrata	Simple
D4	Funcional	Concreta-abstrata	Simple
D5	Funcional	Concreta-abstrata	Simple

Um dos grandes problemas do emprego das analogias são comparações que parecem óbvias para aqueles que a conhecem, mas não são para os alunos (DUIT, 1991). Por exemplo, pode não ser óbvio para aluno e, até mesmo de difícil compreensão, que a velocidade de uma pessoa caminhando na esteira é a mesma com a qual a fita dessa esteira se move no sentido oposto.

Essa familiarização e transposição adequada passam também pelas similaridades entre os sistemas que estão sendo comparados. Analogias que abarquem fundamentos estruturais e funcionais são potencialmente mais favoráveis. Entretanto, analogias cujas estruturas difiram muito, podem trazer sérios prejuízos. No caso da analogia de uma pessoa andando na esteira (analogias A₁ e D₂), esse sistema compreende diferenças estruturais significativas em relação ao equilíbrio químico. O primeiro se refere a um sistema essencialmente físico e macroscópico, cujas características não contribuem para a modelização mental necessária ao entendimento do equilíbrio em nível microscópico, ignorando aspectos como as constantes colisões entre partículas.

Ademais, ainda que a pessoa se movimente na esteira, sua posição em relação a um observador parado, por exemplo, não se modifica, o que pode reforçar a ideia prévia de que o sistema se encontra estático no equilíbrio quími-

co. A experiência primeira ou realismo ingênuo, por ocasionar uma satisfação inicial muito forte, é um dos fatores que podem promover a formação de obstáculos epistemológicos (LOPES, 1992). Estes, por sua vez, constituem obstáculos pedagógicos e tolhem a aprendizagem na medida em que dificultam o processo de abstração recorrente na formação dos conceitos científicos. Como afirma Lopes (1992, p. 258): “o conhecimento científico é de segunda aproximação”, e prossegue a autora, “o conhecimento não está no objeto, mas se produz por consecutivas retificações dos dados primeiros”. (LOPES, 1992, p. 258).

Outro aspecto negativo dessa analogia é o seu nível de enriquecimento. O único atributo passível de comparação, o que a caracteriza como uma analogia simples, é a igualdade das velocidades (pessoa-esteira) com a igualdade da rapidez das reações (direta-inversa). Contudo, como a igualdade das concentrações de reagentes e produtos é uma concepção espontânea muito inveterada para o equilíbrio químico, a analogia da esteira reforça essa ideia, na medida em que os estudantes tendem a transpor a igualdade das velocidades pessoa-esteira ao conceito de igualdade entre a concentração de reagentes e produtos, não em relação à rapidez da reação. Dado que os autores não explicitam nem discutem as limitações dessa analogia (possivelmente nem os professores), a mesma tende a favorecer uma distorção do conceito de equilíbrio químico, tolhendo seu real significado. Analogias demasiadamente simples carregam problemas justamente por encerrarem muitas limitações, que geralmente são ignoradas, facilitando a transposição de ideias inadequadas e o fortalecimento de conhecimentos prévios. Thiele e Treagust (1994), analisando livros de Química australianos, corroboram essa posição.

Tais fatores não impedem, necessariamente, o uso desta analogia, desde que todas essas limitações sejam consideradas, ou que os estudantes tenham maturidade conceitual para reconhecê-las. Todavia, em nível médio, o tempo demandado para a discussão de todas essas limitações, assim como o fato dos estudantes estarem iniciando o estudo do equilíbrio químico tornam seu uso desaconselhado enquanto instrumento de ensino. Por outro lado, uma alternativa que parece muito potencial é o emprego desta analogia (e de outras) enquanto instrumento de avaliação. Segundo Francisco Junior (2010, p. 122-123):

Após discutir um dado tema, o professor/autor pode apresentar uma analogia para que os estudantes façam as correspondências entre análogo e alvo. Quanto mais atributos similares e não similares os estudantes conseguirem identificar por si, maior foi a compreensão sobre aquele determinado assunto. Essa é uma função das analogias que não pode ser ignorada, mas que poucos autores de livros e poucos pesquisadores consideram. [...]. Dessa forma, uma analogia pode encerrar tanto a função de facilitadora quanto de avaliadora da aprendizagem.

Outra analogia demasiadamente simples é a D₄, que compara um boneco João-Teimoso ao deslocamento do equilíbrio. A única correspondência é o fato de ambos os sistemas tenderem ao estado de equilíbrio após sofrerem

modificações. Não há relações com outros aspectos do equilíbrio químico. Além disso, após a perturbação de um equilíbrio químico, o sistema final não necessariamente é idêntico ao inicial. Um equilíbrio heterogêneo, por exemplo, não é alterado com a adição de solvente ou do sólido. Mas, por outro lado, o sistema final não é idêntico ao sistema inicial, haja vista as diferenças na quantidade de matéria.

Previsões sobre o deslocamento do equilíbrio utilizando o princípio de Le Chatelier falham para sistemas heterogêneos, conforme discutem Souza e Cardoso (2008). Assumindo, portanto, que o próprio princípio de Le Chatelier engendra obstáculos ao desenvolvimento do raciocínio abstrato, pois “afirmações do tipo “o equilíbrio deslocará para a direita (ou esquerda)” são insuficientes como argumento que **vise** explicar o fenômeno em questão” (SOUZA; CARDOSO, 2008, p. 52, grifos dos autores), o uso de analogias para tal conceito dissemina tais problemas de maneira indiscriminada. Além disso, os sistemas comparados nesta analogia encerram diferenças tão gritantes (não considera reagentes e produtos e suas concentrações, essencialmente macroscópico, desconsidera colisões entre partículas, sistema não fechado) pelo fato de serem regidas por fundamentos distintos, que mesmo seu uso enquanto instrumento de avaliação torna-se desaconselhável.

Tabela 3 – Mapeamento das similaridades e limitações para a analogia D1.

Itens mapeados	Análogo Evaporação e condensação da água	Alvo Equilíbrio químico
Similaridades	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema fechado 2. Equilíbrio dinâmico e entre partículas 3. Velocidade do processo direto igual à velocidade do processo inverso 4. Reversibilidade 5. Partículas no mesmo compartimento 6. Perturbação do equilíbrio por temperatura, pressão e adição (remoção) de água nos diferentes estados 7. Colisão constante entre as partículas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema fechado 2. Equilíbrio dinâmico e entre partículas 3. Velocidade do processo direto igual à velocidade do processo inverso 4. Reversibilidade 5. Partículas no mesmo compartimento 6. Perturbação do equilíbrio por temperatura, pressão e adição (remoção) de reagentes e produtos 7. Colisão constante entre as partículas
Limitações	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não há transformação de matéria 2. Há rompimento de interações intermoleculares 3. O equilíbrio sempre se dá entre diferentes estados físicos 4. O processo direto no sistema fechado é endotérmico 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Há transformação de matéria 2. Há rompimento de ligações químicas 3. Na maioria das vezes o equilíbrio ocorre em um mesmo estado físico 4. O processo direto pode ser tanto endo quanto exotérmico

A analogia D5 também compara sistemas regidos por diferentes fundamentos da natureza e pode reforçar a ideia de equilíbrio estático, apresentando problemas epistemológicos similares aos das analogias A1 e D2. Nessa analogia é estabelecida uma comparação entre o deslocamento/restabelecimento do equilíbrio do nível de água em vasos comunicantes e o deslocamento do equilíbrio químico. O texto possibilita a interpretação equivocada na medida em que inicia a comparação da seguinte forma: “No estado inicial, a água está em *equilíbrio (parada)* (...)”. (livro D, p. 201, grifos nossos).

Um exemplo de certa forma oposto aos debatidos anteriormente é o da analogia D1. A Tabela 3 apresenta as similaridades e as limitações para este

exemplo. Neste caso, os conceitos comparados referem-se a sistemas de partículas, fechado, dinâmico, cujas semelhanças envolvem tanto aspectos funcionais quanto estruturais e a tornam uma analogia enriquecida. Esse mapeamento de similaridades adquire fundamental relevância na utilização de analogias. Exatamente por isso, estratégias de ensino pautadas no uso de analogias, como as apresentadas nos trabalhos de Harrison e Treagust (1993), Dagher (1995), Nagem *et al* (2001), Galagovsky e Aduris-Bravo (2001) entre outras, sempre apresentam uma etapa na qual as similaridades são debatidas. Contudo, em apenas uma das analogias analisadas (Tabela 4) é apresentada a descrição das similaridades entre alvo e análogo.

Tabela 4 – Classificação das analogias segundo a posição, o formato de apresentação, o mapeamento das similaridades e a apresentação das limitações.

Analogia	Posição	Formato de apresentação	Mapeamento das similaridades	Limitações
A1	À margem	Ilustrativa-verbal	Não	Não reconhece
B1	À margem	Verbal	Não	Não reconhece
C1	À margem	Verbal	Sim	Não reconhece
D1	À margem	Verbal	Não	Não reconhece
D2	À margem	Ilustrativa-verbal	Não	Não reconhece
D3	Durante	Ilustrativa-verbal	Não	Não reconhece
D4	À margem e durante	Ilustrativa-verbal	Não	Não reconhece
D5	Antes	Ilustrativa-verbal	Não	Não reconhece

Não obstante as semelhanças entre alvo e análogo nessa situação, o que provavelmente contribuiu para a aprendizagem, o entendimento dos aspectos microscópicos da evaporação e condensação da água carrega as mesmas dificuldades que a compreensão do equilíbrio químico. Vale então refletir, até que ponto as dificuldades e o tempo gasto para se compreender o análogo são favoráveis; ou, se por outro lado, a discussão do conceito em si não seria mais viável. Uma possível saída com vistas a minimizar algumas dificuldades, é o uso de um sistema fechado com iodo sólido, o qual estabelecerá um equilíbrio com o iodo gasoso a partir de um processo de sublimação. Devido à coloração facilmente visualizável, a interpretação dos aspectos microscópicos pode ser facilitada mediante os aspectos fenomenológicos. No caso do iodo valem as mesmas similaridades e limitações discutidas para a água.

Por sua vez, a analogia B1 também retrata um sistema de partículas, porém, válido somente para a perturbação do equilíbrio pela pressão. Os fenômenos comparados são a redução da pressão sanguínea de um mergulhador quando este retorna à superfície, com a redução da pressão ao se abrir uma garrafa de refrigerante. Há o destaque para a diminuição da solubilidade dos gases dissolvidos em ambos os casos, o que provoca a formação de bolhas de gás no refrigerante ao ser aberto, evocando a imaginação para a formação de bolhas na corrente sanguínea. Entretanto, a analogia não é explorada no sentido de discutir outras correspondências, sobretudo os aspectos microscópicos da diminuição da solubilidade de gases em líquidos, nem as limitações (sistema aberto – siste-

ma fechado, o que envolve a reversibilidade de um e outro caso; bolhas ficam no sangue – bolhas escapam para a atmosfera; gases dissolvidos são diferentes).

Quanto mais atributos puderem ser estabelecidos entre a analogia e o alvo, maior a similaridade e menor, portanto, a possibilidade de transposição de ideias inválidas. Logo, seria recomendável que análogo e alvo pudessem compartilhar tanto atributos funcionais quanto atributos estruturais, fato incomum nos resultados apresentados, como visto anteriormente (Tabela 2). Entretanto, não são todas as analogias que permitem isso e, analogias somente do tipo estrutural ou somente do tipo funcional podem atingir os objetivos delineados, assim como analogias do tipo estrutural-funcional podem não conduzir à aprendizagem, por fatores outros, como debatido inclusive para a analogia de evaporação e condensação da água.

Um exemplo de analogia funcional e potencialmente poderosa é a analogia entre uma “guerra de mamonas” e o equilíbrio químico apresentada pelo livro E. Nessa, dois garotos lançam mamonas para o quintal vizinho, onde o avô de um deles as lança de volta. Após algum tempo, a quantidade de mamonas no lado do avô se torna maior, e a velocidade em que elas são lançadas e devolvidas se igualam, fazendo com que a quantidade não se altere mais.

Tal analogia é potencialmente poderosa, uma vez que permite explicar vários fatores das reações químicas em equilíbrio (o caráter dinâmico, a igualdade das velocidades das reações direta e inversa, a diferença de concentração entre reagentes e produtos, bem como o cálculo da constante de equilíbrio). Nesse caso, especificamente, a analogia poderia ser explorada melhor, elevando seu potencial em termos de aprendizagem. Embora os autores destaquem as similaridades entre o caráter dinâmico, a igualdade das velocidades das reações direta e inversa, bem como a diferença de concentração entre reagentes e produtos, tais aspectos foram abordados de maneira superficial. As limitações da analogia também foram ignoradas. Ainda que se reconheça o papel do professor na ampliação das discussões, pelo fato dos livros didáticos não abarcarem todas as possibilidades, caso o professor não tenha formação que possibilite o uso crítico das analogias, esse recurso diminui sua potencialidade didática. Ao mesmo tempo, não se pode isentar a responsabilidade daqueles que se propõem a elaborar materiais didáticos por ocultarem questões tão importantes.

A analogia da “Guerra de mamonas” pode ser explorada de forma lúdica, com os alunos reproduzindo a brincadeira utilizando outros materiais. Soares *et al* (2003) discutem uma experiência em que tal analogia foi aplicada na forma de jogo com estudantes de Ensino Médio, empregando-se bolinhas de isopor e caixas de papel. A partir disso, foram construídos tabelas e gráficos análogos aos obtidos em um experimento real. As constantes de equilíbrio assim como outros dados numéricos também foram obtidos. Esta analogia pode ainda ser estendida pelo professor, a partir da inclusão de outros aspectos, tais como a energia de ativação (alvo) e a altura do muro (análogo). Quanto maior a altura do muro, mais difícil é o arremesso das mamonas de um lado a outro e mais tempo

o equilíbrio leva para ser atingido. Similarmente, quando maior a energia de ativação de uma dada reação, mais tempo é necessário para que seja atingido o equilíbrio químico.

Não se pode ignorar, também, as dessemelhanças e limitações de tal analogia. Dentre as limitações podem ser citadas: (i) o tempo da reação química que é bem diferente do tempo para transferir as bolinhas de isopor de uma caixa à outra (ou as mamonas de um lado do quintal ao outro); (ii) o fato da reação inversa iniciar desde o início do processo, o que não é observado com a brincadeira das mamonas (o avô começa a devolver as mamonas após um tempo) nem com as bolinhas de isopor que passam a ser trocadas entre um caixa e outra depois de um certo tempo; (iii) a analogia é uma representação macroscópica e concreta, diferentemente do caráter microscópico e abstrato das reações de equilíbrio e, talvez a mais grave delas e (iv) a ideia de que reagentes e produtos encontram-se em compartimentos separados, o que leva a desconsideração das constantes colisões entre as partículas.

Se de um lado tais limitações não são poucas, de outro se pode afirmar que caso o estudante seja levado a compreendê-las, o entendimento do equilíbrio químico encontrar-se-á em um estágio de grande avanço. Aliás, no que concerne às limitações das analogias, vale a ressalva de que em nenhum caso estas são apresentadas (Tabela 4). Este é um fator preocupante, visto que na maioria dos casos as limitações podem prejudicar substancialmente a aprendizagem. Mas, por outro lado, a problematização das limitações apresentadas pelas analogias também pode resultar em aprendizagem, à que medida que os estudantes passam a reconhecer e compreender os aspectos não correspondentes entre os conceitos alvo e análogo

No que cinge à posição das analogias, a maior parte delas encontra-se à margem (Tabela 4), sendo a analogia D₃ a única que aparece durante o texto. Monteiro e Justi (2000) concordam com Curtis e Reigeluth (1984) quanto ao fato de que as analogias posicionadas antes ou durante a apresentação do alvo podem ser mais eficazes. Nesses casos, as analogias permitem estabelecer comparações mais diretas, pois, ao ser apresentado ao conceito alvo, o aluno pode, simultaneamente, estabelecer as relações necessárias (MONTEIRO; JUSTI, 2000). Analogias antes e durante a apresentação do conceito alvo funcionam justamente despertando a atenção do estudante, para que as correspondências sejam devidamente estabelecidas (CURTIS; REIGELUTH, 1984; MONTEIRO; JUSTI, 2000). Por outro lado, no caso de analogias como a D₅, que podem fortalecer concepções prévias equivocadas, sua apresentação antes do conceito alvo não é recomendável.

Como bem alertado também por Monteiro e Justi (2000), a posição das analogias depende dos objetivos de quem a propõe, assim como da natureza dos conceitos alvo e análogo. Dessa forma, uma analogia empregada após a apresentação do conceito alvo pode ter função avaliadora, como já mencionado. Analogias à margem funcionam como um complemento do texto principal, e

também podem ser eficazes à medida que resgatam pontos importantes sobre o conceito em estudo. Para isso, no entanto, é premente que sejam estabelecidas as devidas correspondências entre alvo e análogo, fato que ocorre apenas em uma das analogias encontradas. Há um certo consenso de que o emprego das analogias enquanto recurso didático, tanto em textos quanto verbalmente, deva abarcar uma etapa na qual há o estabelecimento dos pontos comuns e das limitações. Nesse quesito, fica o alerta dessa não ocorrência nas analogias estudadas pelo presente trabalho.

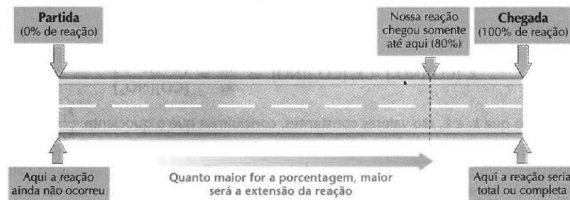
Outro fator a ser destacado são as ilustrações que acompanham as analogias. As imagens desempenham papel importante no ensino de Ciências, visto que a própria conceitualização depende muitas vezes da visualização (SILVA *et al*, 2006). Ademais, além da função explicativa, podem ser ressaltadas as funções motivadora, informativa e até mesmo reforçadora de ideias que podem ser desempenhadas pela utilização de imagens em textos didáticos (DIÉGUEZ, 1978).

As analogias ilustrativa-verbais atuam reforçando e facilitando a compreensão do conceito análogo, mais do que se fossem apenas verbal, pela possibilidade de tornar o análogo familiar ao leitor mediante a visualização, sobretudo quando o análogo for de difícil abstração. Esse é o caso da analogia D₁, cuja imagem representando o sistema microscópico auxiliaria a compreensão do análogo. Sendo assim, a inserção de imagens nesses casos é muito bem vinda, porém, não foi aproveitada para esse exemplo.

A analogia D₃ é a única que remonta explicitamente aos aspectos matemáticos do equilíbrio químico. Esta se refere ao grau de equilíbrio (extensão) de uma reação até atingir o equilíbrio, comparado ao trecho percorrido em uma estrada durante uma viagem. No caso da analogia D₃, a imagem (Figura 1) facilita a “visualização” dos trechos percorridos. A ilustração auxilia o entendimento da extensão da reação, além do autor utilizá-la como suporte para discussão do conceito alvo. Apesar dessa analogia contribuir para o conceito de extensão, a mesma também não compreende os aspectos microscópicos fundamentais do equilíbrio químico. De tal maneira, é necessário que se delimite especificamente para qual situação a mesma é válida.

Figura 1 – Ilustração para a analogia D3.

Essa porcentagem nos dá a idéia de o quanto a reação caminhou, ou seja, qual foi a **extensão** (ou **rendimento**) da reação. Fazendo-se uma analogia com um trecho que percorremos numa estrada, temos:



A idéia que acabamos de apresentar é traduzida comumente pelo chamado grau de equilíbrio, cuja definição é:

Grau de equilíbrio (α) é o quociente entre a quantidade de um reagente (em mols) que realmente reagiu, até o equilíbrio, e a quantidade inicial de mols desse reagente.

Em contrapartida, imagens em situações nas quais a relação entre análogo e alvo é demasiadamente simples podem reforçar aspectos não correspondentes, resultando em problemas já mencionados, como a transposição de conceitos inadequados e de concepções prévias ao alvo. Por exemplo, a fotografia de uma pessoa caminhando na esteira (Figura 2A), se por um lado torna a esteira mais familiar, por outro pode reforçar a concepção de um sistema estático, o que é alentado pelo texto (*podemos perceber que uma pessoa caminha, mas mesmo assim não sai do lugar*) de suporte. O mesmo vale para a analogia D5, cuja imagem dos vasos comunicantes (Figura não mostrada) permite melhor compreensão do análogo, mas o análogo não contribui à aprendizagem por reforçar concepções prévias equivocadas. Já imagem do boneco João-Teimoso (Figura 2B), por sua vez, em pouco ou nada contribui para a interpretação em nível microscópico necessária à compreensão da alteração do equilíbrio químico.

Figura 2 – Ilustrações para as analogias A1 (A) e D4 (B).

Equilíbrio químico A

B

EDUARDO SANTALÉSTIMA / CID

A foto usada na abertura deste capítulo dá-nos uma ótima idéia de como um equilíbrio químico se apresenta. Podemos perceber que uma pessoa caminha, mas mesmo assim não sai do lugar, isso porque a esteira que ela utiliza "caminha" no sentido contrário ao seu corpo com velocidade idêntica à sua. É exatamente essa a idéia na qual o equilíbrio químico está baseado. em 1863, os químicos noruegueses Cato Maximilin Guldberg e Peter Waage, estudando hidrólise da sacarose (sacarose + água → glicose + frutose), reconheceram que o equilíbrio químico é uma condição dinâmica, sendo caracterizado não pela interrupção da reação, mas pelo fato de as velocidades das reações direta e inversas se tornarem iguais.

Quando um boneco tipo João-Teimoso é empurrado, ele acaba voltando à posição de equilíbrio.

De acordo com Monteiro e Justi (2000), as ilustrações podem ser consideradas desnecessárias quando: (i) os autores não as utilizam como suporte para a discussão de ideias a elas relacionadas; (ii) elas não representam o conceito análogo; e (iii) elas não acrescentam nenhuma informação nova ao texto. A partir do exposto, as ilustrações das analogias D₂ e D₄ poderiam ser suprimidas sem perda de compreensão pelo fato dos autores não as empregarem como suporte para a discussão dos conceitos.

Além disso, as ilustrações das analogias A₁, D₂, D₄ e D₅, embora evoquem o conceito análogo, não representam o alvo satisfatoriamente, devido aos problemas já mencionados. De tal maneira, a pertinência das ilustrações depende de como as analogias são empregadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É inegável o recorrente uso de analogias como instrumentos de ensino, sejam por professores ou autores de livros didáticos. O tópico equilíbrio químico se destaca tanto pela quantidade, como pela variedade de analogias, conforme demonstra o trabalho de Raviolo e Garritz (2008). Mais do que condenar ou justificar esse emprego, é fundamental reconhecer que as analogias carregam simplificações inerentes e, que isso exige uma discussão crítica dos aspectos epistemológicos envolvidos. Nesse sentido, este trabalho buscou apresentar uma análise crítica que visa orientar, sobretudo, em quais situações e quais modos de utilização podem ser proveitosos.

Das oito analogias identificadas, lembrando que uma delas se repete, quatro delas podem favorecer a compreensão de importantes aspectos microscópicos do equilíbrio químico (como o caráter dinâmico, a igualdade das reações direta e inversa, a não alteração da concentração de produtos e reagentes) não ignorando as limitações associadas, as quais tentaram ser aqui contempladas. Todavia, a maioria delas falha em um dos aspectos centrais, apresentado por Sousa e Cardoso (2008), que é a “manipulação mental” do caráter dinâmico em que partículas de reagentes e produtos coexistem em um sistema fechado, sujeitos a colisões constantes. Apenas a analogia D₁ pode contribuir nessa questão, não ignorando também suas dificuldades de compreensão e suas limitações.

Todavia, as analogias A₁, D₂, D₄ e D₅ por se configurarem demasiadamente simples e desconsiderarem aspectos microscópicos essenciais, além de não facilitarem a aprendizagem dos conceitos envolvidos no equilíbrio químico, podem dificultar a sua compreensão, à medida que promovam a formação de obstáculos epistemológicos. Isso não impede, por outro lado, que algumas dessas analogias sejam utilizadas de formas ulteriores, como por exemplo, na função avaliativa. Nesse contexto, a problematização de analogias que apresentem muitas limitações pode promover a aprendizagem à que medida que os estudan-

tes passam a reconhecer e compreender os aspectos não correspondentes entre os conceitos alvo e análogo.

No bojo das reflexões sobre o uso das analogias como instrumento didático, assim como de outros, está o planejamento e o reconhecimento de suas vantagens e desvantagens. Nesse sentido, o professor é um ator essencial e que tem sua responsabilidade aumentada, pois, em grande parte das analogias presentes em livros didáticos estão ausentes discussões sobre os atributos correspondentes e não correspondentes, bem como acerca das limitações das analogias. É importante, por parte do professor, a ciência dessa responsabilidade devido aos próprios aspectos limitadores do livro didático, além das diferenças culturais resultantes de sua produção. Os livros didáticos não dão conta de tudo que possa ser importante para a aprendizagem, e nem poderiam, por questões de espaço ou mesmo concepções pedagógicas de ensino que o norteiam. Ainda que o livro possa ser considerado bom, este nunca abarcará tudo aquilo que pode ser importante.

Somado a isso ainda aparecem as enormes diferenças culturais brasileiras que se tornam variantes. Por exemplo, a analogia da “guerra das mamonas” pode causar estranheza para grupos de alunos que nunca ouviram o termo, ou nunca viram uma mamona, assim como estudantes de uma comunidade ribeirinha provavelmente nunca viram uma esteira para caminhada/corrida. Logo, a negociação e discussão das analogias pode se configurar como um recurso adicional para o professor fugir da rotina em sala de aula, permitindo novas possibilidades e implicações para cada situação em específico. Devido às diversas realidades, essa estratégia poderia se constituir até mesmo em um momento de multiculturalismo ao abranger noções e terminologias distintas para dados exemplos e analogias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CURTIS, R. V; REIGELUTH, C. M. The use of analogies in written text. *Instructional Science*, v. 13, n. 2, p. 99-117, 1984.
- DAGHER, Z. R. Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, v. 79, n. 3, p. 295-312, 1995.
- DIÉGUEZ, J. L. R. *Las Funciones de la imagen en la enseñanza*. 2 ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1978.
- DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, v. 75, n. 6, p. 649-672, 1991.
- FRANCISCO JUNIOR, W. E. Analogias em livros didáticos de Química: o caso das obras aprovadas pelo PNLEM 2007. *Ciências & Cognição*, v. 14, n. 1, p. 121-143, 2009.
- FRANCISCO JUNIOR, W. E. *Analogias e situações problematizadoras em aulas de Ciências*. São Carlos: Pedro & João Editores, 2010.
- GALAGOVSKY, L. Y; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las Ciencias naturales: El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 19, n. 2, p. 231-242, 2001.
- HARRISON, A. G; TREAGUST, D. F. Teaching with analogies: a case study in grade-10 optics. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 10, p. 1291-1307, 1993.
- LOPES, A. R. C. Livros didáticos: Obstáculos ao aprendizado da Ciência Química I – Obstáculos animistas e realistas. *Química Nova*, v. 15, n. 3, p. 254-281, 1992.
- JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, v. 1, n. 1, p. 9-15, 2000.
- MACHADO, A. H; ARAGÃO. Como os estudantes concebem o estado de equilíbrio químico. *Química Nova na Escola*, n. 4, p. 18-20, 1996.
- MONTEIRO, I. V; JUSTI, R. Analogias em livros didáticos de Química destinados ao Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 2, p. 67-91, 2000.
- NAGEM, R. L; CARVALHAES, D. O; DIAS, J. A. Y. T. Uma proposta de metodologia de ensino com analogias. *Revista Portuguesa de Educação*, v. 14, n. 1, p. 197-213, 2001.
- OLIVA, J. M. *et al.* Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 19, n. 3, p. 453-470, 2001.
- PÁDUA, I. C. A. Analogias, metáforas e a construção do conhecimento: por um processo de ensino-aprendizagem mais significativo. In: 26ª REUNIÃO ANUAL DA ANPED, 26, 2003. Caxambu. *Anais...* Caxambu: ANPED, 2003. Disponível em: <<http://www.anped.org.br/reunioes/26/trabalhos/isabelcamposaraujopadua.rtf>>. Acesso em: 06/02/2010.
- RAVIOLO, A; GARRITZ, A. Analogias no ensino do equilíbrio químico. *Química Nova na Escola*, n. 27, p. 13-25, 2008.
- SOARES, M. H. F. B; OKUMURA, F; CAVALHEIRO, E. T. G. Proposta de um Jogo didático para ensinar o conceito de equilíbrio químico. *Química Nova na Escola*, n. 18, p. 42, 2003.
- SOUZA, K. A. F. D; CARDOSO, A. A. Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula. *Química Nova na Escola*, n. 27, 2008.
- SILVA, H. C. *et al.* Cautela ao usar imagens em aulas de Ciências. *Ciência & Educação*, v. 12, n. 2, p. 219-233, 2006.
- THIELE, R; TREAGUST, D. The nature and extend of analogies in secondary chemistry textbooks. *Instructional Science*, v. 22, n. 1, 61-74, 1994.

Data de recebimento: 14/05/2010

Data de aprovação: 11/04/2011

Data da versão final: 02/05/2011