

Análise estrutural de um modelo para o ensino dos acertos de coeficientes estequiométricos de equação química

Structural analysis of a model for teaching the adjustment of stoichiometric coefficients of chemical equation

Luciana Paula de Assis

Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
lucianapauladeassis@gmail.com

Alexandre da Silva Ferry

Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
alexandreferry001@gmail.com

Resumo

Esta investigação teve por objetivo fazer a análise estrutural de um modelo para o ensino de estequiometria presente em um dos livros aprovados no Programa Nacional do Livro Didático de 2018. Após a leitura dos capítulos envolvendo o contexto da estequiometria, procedemos com a análise estrutural do modelo para o acerto de coeficientes estequiométricos de uma equação química. A análise sugeriu que, apesar dos autores considerarem a atividade proposta como uma analogia, ela é fundamentada em uma modelagem. Ademais, como ele não foi baseada em uma analogia, não envolveu a modelagem analógica. O mapeamento estrutural do modelo demonstrou ser estruturalmente consiste com devido foco relacional, mas baixa sistematicidade. Além desses resultados, consideramos que o mapeamento estrutural pode se configurar como uma ferramenta de análise aplicada aos modelos, de modo similar à análise de analogias para o ensino e aprendizagem de conceitos e procedimentos das ciências.

Palavras chave: ensino de química, estequiometria, livro didático, modelos, PNLD.

Abstract

This investigation aimed to make the structural analysis of a model for teaching stoichiometry present in one of the textbooks approved in Brazilian program of textbook of 2018. After reading the chapters involving the context of stoichiometry, we proceeded with the structural analysis of the model for the adjustment of stoichiometric coefficients of a chemical equation. The analysis suggested that, although the authors consider the proposed activity as an analogy, it is based on modeling. Furthermore, as it was not based on an analogy, it did not involve analogical modeling. The structural mapping of the model proved to be structurally consisting with due relational focus, but low systematicity. In addition to these results, we

consider that structural mapping can be configured as an analysis tool applied to models, similar to the analysis of analogies for teaching and learning science concepts and procedures.

Keywords: chemistry teaching, stoichiometry, textbook, models, PNLD.

Introdução

O termo “modelo” tem diferentes significados quando relacionado a diferentes áreas de aplicação. Algumas vezes, os modelos são relacionados a um padrão a ser seguido, em outros contextos o termo é associado a algum tipo de marca ou coisa, ou ainda, como molde de algum objeto (ALMEIDA, ALMEIDA & FERRY, 2018). No entanto, entendemos que nenhum desses significados estão relacionados ao contexto da Educação em Ciências.

Na Educação em Ciências, os modelos são enunciados com a ideia geral de que são representações da realidade baseados nas similaridades entre as entidades modeladas (GILBERT & JUSTI, 2016). Os modelos científicos são construídos a partir de ferramentas que possibilitam representar a realidade, assim, primeiramente a ciência faz um recorte de aspectos teóricos relevantes da realidade, que simplifica e analisa diversos elementos, originando, então, um sistema particular, que constitui apenas uma das possibilidades de representação dessa realidade (GALAGOVSKY & ADURIZ-BRAVO, 2001).

Os modelos no ensino de Química se constituem como um recurso mediacional muito utilizado. Diante disso, esta investigação pretendeu responder a seguinte questão de pesquisa: *como a análise estrutural de modelos pode contribuir para o ensino e aprendizagem de conceitos e processos científicos?* Para isso, tivemos o objetivo de realizar a análise estrutural de um modelo para o ensino dos procedimentos para o acerto de coeficientes estequiométricos de equações de forma a identificar como a análise estrutural pode contribuir para o ensino de Química.

Referencial Teórico

Adotamos como referencial teórico para o conceito de modelo o enunciado por Gilbert & Justi (2016), uma vez que os autores abordam os modelos como representação da realidade baseada nas similaridades entre as entidades modeladas, ou seja, concebemos os modelos como representações parciais das entidades de interesse científico. Além disso, para o conceito de analogias consideramos a Teoria do Mapeamento Estrutural (TME) de Gentner (1983), em que elas são compreendidas como uma comparação de similaridades relacionais entre dois domínios. A TME fornece representações de correspondências entre elementos, atributos e relações para o mapeamento estrutural de comparações. Por exemplo, as relações de primeira ordem são mapeadas entre elementos e atributos, já as relações de segunda ordem são mapeadas entre pelo menos uma relação de primeira ordem e alguma outra correspondência. Desse modo, como ambos, analogias e modelos, são recursos fundamentados em relações de similaridade com a entidade de interesse científico, consideramos adequado utilizar a TME para a análise estrutural do modelo.

À luz da TME de Gentner (1983), Almeida, Almeida & Ferry (2018) apresentam uma análise estrutural para modelos, a partir de mapeamentos estruturais, e avaliam as analogias e os modelos quanto a quatro princípios. Para analisar o domínio base das analogias em relação ao domínio alvo da comparação, os autores sugerem:

- Princípio da Familiaridade: consiste no conhecimento familiar do domínio base utilizado tanto para quem estabelece a analogia quanto para os ouvintes (estudantes);
- Princípio da Independência: constitui na independência entre o domínio base (DB) e alvo (DA) da comparação, ou seja, o domínio base escolhido independe de como a entidade de interesse científico é concebida, o alvo da analogia. Em outras palavras, modificações no conhecimento sobre entidade de interesse científico não implicaria em alterações no DB, a não ser a mera substituição por outro sistema análogo.

Para analisar o modelo elaborado em relação a entidade modelada, os autores sugerem:

- Princípio da Representatividade: equivale dizer que os modelos são construídos com a finalidade de representar parcialmente a entidade de interesse científico;
- Princípio da Dependência: expressa a relação de dependência entre o conhecimento científico sobre a entidade modelada e o modelo elaborado para representá-la. Em outros termos, significa que a modificação do nosso conhecimento sobre a entidade de interesse científico pode modificar a forma como o modelo será construído para representá-la.

Adotamos esses princípios como critérios de análise dos recursos utilizados por autores de livros didáticos de Química na abordagem da estequiometria, a fim de melhor categorizá-los como modelos, analogias ou modelos fundamentados em analogias – modelos analógicos.

Metodologia

A investigação envolveu a leitura dos capítulos no contexto da estequiometria nos livros aprovados no PNLD/2018, com o objetivo de identificar recursos didáticos que pudessem ser caracterizados como modelos, isto é, representações parciais de entidades de interesse para o estudo desse conteúdo. A escolha pelos livros do PNLD se deu pelo uso nacional em escolas públicas. Após a identificação através de ilustrações e expressões nas passagens textuais dos livros, selecionamos um modelo apresentado pelos autores para o ensino do acerto de coeficientes estequiométricos em equações químicas para realizar a sua análise estrutural. A análise foi executada de acordo com o referencial teórico de Gentner (1983) e os procedimentos propostos por Almeida, Almeida & Ferry (2018). Além disso, utilizamos o padrão de correspondências proposto por Ferry (2016 e 2018) e adaptações de Barbosa (2019), quadro 1, com a finalidade de contribuir para a análise dos modelos e sua classificação.

Quadro 1: Padrão de representação do mapeamento estrutural a ser aplicado na análise de modelos.

Modelo (Representante)	Representações das Correspondências	Entidade de interesse científico modelada (Representado)
Elementos da base	E_n	Elementos do alvo
Atributos dos elementos do DB	$A_n(E_x)$	Atributos dos elementos do DA
Relações de 1ª ordem do DB	$r_n(A_x/E_x, A_y/E_y, \dots)$	Relações de 1ª ordem do DA
Relações de 2ª ordem do DB	${}^2R_n(r_x, r_y / A_y / E_y \dots)$	Relações de 2ª ordem e/ou de ordem superior no DA
Relações de ordem superior de nível hierárquico ou grau 'nh' do DB	${}^{nh}R_n({}^{(nh-1)}R_x, R_y / r_y / A_y / E_y, \dots)$	Relações de ordem superior de nível hierárquico ou grau 'nh' do DA
Determinados atributos ou relações do DB	$D_n^* : [\dots]$	Determinados atributos ou relações do DA
Elementos, Atributos ou Relações do DB ausentes no DA	$L_n^{**} : [\dots]$	Elementos, Atributos ou Relações do DA ausentes no DB

* - Os códigos das diferenças alinháveis devem, sempre, remeterem-se a alguma correspondência previamente codificada.
 ** - Os códigos das limitações identificadas referem-se a um novo elemento, atributo ou relação. Isto é, na lógica do mapeamento estrutural, as limitações são apresentadas com novos códigos.

Fonte: Adaptado de Ferry (2018, p. 111 e 112) e Barbosa (2019, p. 80-82).

Resultados e Discussões

Os autores propõem, no livro, uma atividade feita com cliques para representar átomos e moléculas em um processo químico, a fim de demonstrar o procedimento de acerto de coeficientes estequiométricos em equações químicas e a transformação ocorrida na respectiva reação. A figura 1 apresenta o recorte da atividade proposta.

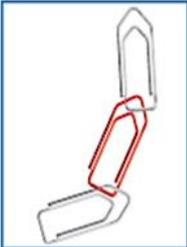
Figura 1: Recorte da atividade proposta para o acerto de coeficientes estequiométricos.



Representação da molécula de gás hidrogênio.



Representação da molécula de gás oxigênio.



Representação da molécula de água.

Atenção: os átomos não se ligam como cliques ou massinha, mas essa analogia permite entender as proporções na reação.

Não podemos manipular átomos em sala de aula, mas podemos compará-los a pequenas esferas, como propunha o modelo atômico de Dalton. Então, por analogia, iremos desenvolver uma atividade em duas etapas para percebermos melhor o significado dos coeficientes de uma equação. Os únicos materiais necessários serão cliques coloridos (ou outros objetos de cores variadas e fácil manipulação). Lembre-se que a ideia é representar as quantidades de átomos e não as formas).

Fonte: Santos & Mól, (coord.) (2016, p. 47).

Como pode ser lido na figura 1, os autores do livro propuseram essa atividade afirmando que os átomos são comparáveis a pequenas esferas, e que a atividade, por analogia, deveria ser desenvolvida para a compreensão do significado dos coeficientes estequiométricos das equações. Para tanto, os autores sugerem desenvolvê-la com cliques de diferentes cores a fim de representar diferentes tipos de átomos. Diante do nosso referencial teórico, não classificamos essa atividade como uma analogia e sim como um modelo, pois, ao invés de estabelecer uma comparação com foco das similaridades entre relações de um domínio base para explicar o domínio alvo, a atividade meramente envolve a utilização de cliques para representar as entidades de interesse científico – átomos e moléculas. Em outras palavras, entendemos que não há uma comparação analógica entre dois domínios, pois no alvo os átomos se ligam de modo a formar uma molécula, no entanto, não podemos dizer que, no domínio base, os cliques se ligam para formar uma “corrente de cliques”, ou seja, consideramos essa ação como não-familiar, uma vez que não utilizamos os cliques com essa finalidade.

À luz de Almeida, Almeida & Ferry (2018), podemos inferir que apesar de existir uma familiaridade do objeto cliques (já que é comum no nosso dia a dia) existe uma relação de representatividade e de dependência entre os cliques (DB) e os átomos (DA) quando observamos que o objetivo da atividade proposta é utilizar os cliques para representar átomos e, posteriormente, moléculas, de modo a facilitar a compreensão de uma transformação química e de como realizar o acerto de coeficientes estequiométricos em equações químicas. Entendemos que o recurso foi criado com a finalidade de representar uma entidade de interesse científico (átomos, moléculas e reações químicas), e não de estabelecer uma comparação entre os átomos e os cliques. Ou seja, o que se propõe a partir do recurso sugerido se baseia em uma relação de representatividade entre os cliques e os átomos, e não em uma relação de similaridade tomada para a proposição de uma analogia, no sentido em que este termo é compreendido na TME. Em relação ao princípio da dependência, o recurso didático apresenta uma dependência associada a entidade modelada, ou seja, é necessário modificar o modelo caso a concepção em relação a entidade de interesse científico seja alterada. Ademais, como o modelo não foi fundamentado em uma analogia, consideramos que os cliques foram utilizados de maneira convencional para representar átomos e moléculas, assim como no modelo de bastão e bola inspirado em Dalton, o que nos levou a classificar esse tipo de modelagem como sendo a convencional.

A fim de identificar a abrangência e as limitações da atividade mediada pelo uso dos cliques coloridos, fizemos o mapeamento estrutural por meio do alinhamento dos elementos, atributos e relações similares entre os arranjos de cliques sugeridos e as entidades de estudo da Química (átomos, moléculas, reação e equação química).

Quadro 2: Mapeamento estrutural do modelo para acerto de coeficientes estequiométricos.

Modelo (Representante)	Código da correspondência	Entidade de interesse científico modelada (Representado)
Clipe	E_1 ←————→	Átomo
Arranjo de cliques conectados	E_2 ←————→	Molécula
Rearranjo dos cliques	E_3 ←————→	Reação química
Tipo de clipe (cor do clipe)	$A_1 (E_1)$ ←————→	Tipo de átomo (elemento químico)
Massa do clipe	$A_2 (E_1)$	Massa do átomo

	←————→	
Número de cliques	$A_3(E_1)$ ←————→	Número de átomos
Massa de um arranjo de cliques	$A_4(E_2)$ ←————→	Massa de uma molécula
Dois cliques ou mais podem ser ligados para constituir um arranjo de cliques conectados	$r_1(E_1, E_2)$ ←————→	Dois átomos ou mais podem se ligar para constituir uma molécula
A massa total do arranjo de cliques após o rearranjo é igual à massa total dos arranjos de cliques antes do rearranjo	$r_2(E_3, A_2, A_4)$ ←————→	A massa total das moléculas após a reação química (produtos) é igual à massa total das moléculas antes da reação (reagentes)
O número total de cliques após o rearranjo é igual ao número total de cliques antes do rearranjo	$r_3(E_3, A_3)$ ←————→	O número total de átomos nos produtos é igual ao número total de átomos nos reagentes
A conservação da massa é decorrente do mero rearranjo da mesma quantidade de cliques envolvidos	${}^2R_1(r_2, r_3)$ ←————→	A conservação da massa é decorrente do mero rearranjo da mesma quantidade de átomos envolvidos
O aglomerado de cliques não apresenta uma geometria específica	$D_1: [E_2]$ ←————×————→	Cada molécula tem uma geometria espacial específica
Todos os cliques apresentam a mesma massa (cliques do mesmo tamanho)	$D_2: [A_2(E_1)]$ ←————×————→	Átomos de elementos diferentes apresentam massa diferente
Os cliques podem ser ligados aleatoriamente	$D_3: [r_1(E_1, E_2)]$ ←————×————→	Os átomos não se ligam aleatoriamente
Forma do clipe	$L_1: [A_5(E_1)]$ ←————×————→	Não há atributo correspondente; a forma do clipe não pode ser considerada na representação dos átomos

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O modelo possibilitou o estabelecimento de 14 correspondências: 3 entre elementos, 4 entre atributos, 3 entre relações de primeira ordem, 1 entre relação de segunda ordem, 3 diferenças alinháveis e 1 limitação. Consideramos que o modelo é estruturalmente consistente, pois há correspondência um-a-um entre seus elementos: clipe/átomo; arranjo de cliques conectados/molécula; rearranjo dos cliques/reação química; estendendo-se aos atributos. Essa correspondência um-a-um, associada a conectividade em paralelo dos códigos mapeados nas relações, evidencia a consistência estrutural do modelo, pois não há elementos, atributos ou relações em um domínio que correspondam a mais de um elemento, atributo ou relação no outro domínio. Em relação a sistematicidade, o modelo é pouco sistemático, uma vez que apresentou apenas uma relação conectada com outras relações: a relação de segunda ordem 2R_1 . De acordo com o nosso referencial teórico, isso significa que o modelo dos cliques teria um maior “poder inferencial” sobre os procedimentos de acertos de coeficientes estequiométricos das equações químicas se houvesse outras relações de segunda ordem ou de ordem superior. Apesar disso, podemos afirmar que o modelo tem o potencial foco sobre as relações identificadas no uso dos cliques para a representação de uma reação química, ou de sua equação, evidenciando que o tópico em questão não é meramente descritivo, mas sim relacional. Em outras palavras, podemos dizer o foco relacional do modelo demonstra que o

estudo da estequiometria das reações químicas é mais centrado em aspectos relacionais entre as entidades envolvidas do que em aspectos estruturais dessas entidades.

Além disso, o modelo apresentou três diferenças alinháveis que se destacam ao usar o modelo. A primeira diz respeito a falta de uma geometria específica que os cliques (DB) apresentam quando conectados, já nas moléculas (DA) sempre há uma geometria espacial definida. Em D_2 , há uma observação importante a ser esclarecida em sala de aula, pois átomos de elementos diferentes sempre apresentam uma massa diferente e no caso dos cliques, podemos usar cliques de mesmo tamanho, mas de cores diferentes para representar átomos distintos. Em D_3 , observamos a relevância de se esclarecer que os átomos não se ligam de forma aleatória, ou seja, cada átomo se liga de forma específica com diferentes elementos químicos, no entanto, os cliques podem se conectar de forma totalmente aleatória. Ademais, a limitação diz respeito a forma do clipe (DB) que não há elemento correspondente na equação química (DA), pois a forma dos cliques não pode ser considerada na representação dos átomos.

Considerações Finais

A investigação permitiu afirmar que o modelo é estruturalmente consistente, apresenta foco relacional, porém baixa sistematicidade. Além disso, o recurso não se configura como uma analogia, como sugerem os autores do livro didático, nem como um modelo analógico, por não estar fundamentado em uma analogia: concluímos que a atividade baseada no uso dos cliques não se configura como uma situação familiar que possa ser tomada como domínio base de uma analogia, mas como uma mera situação incomum de uso dos cliques com a intenção de representar átomos e moléculas. Portanto, trata-se de uma representação parcial de uma reação química, fundamentada somente no conhecimento das convenções sobre a ocorrência das reações, o que nos levou a classificá-lo como um modelo convencional, em contraposição ao que seria um modelo analógico.

Destacamos a vantagem desse modelo para mostrar a transformação da matéria, ou seja, as interações de substâncias reagentes capazes de gerar novas substâncias (produtos), a partir da possibilidade de construir e reconstruir as conexões dos cliques, formando novos “arranjos de cliques” (novas moléculas). Desse modo, o modelo apresentado pode se constituir um recurso para o ensino e aprendizagem de conceitos e processos científicos, especificamente para o contexto do acerto de coeficientes estequiométricos de equação química.

Agradecimentos e apoios

Agradecemos ao CEFET-MG, GEMATEC e AMTEC. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

ALMEIDA, D. J. E. D.; ALMEIDA, R. B. S. D.; FERRY, A. D. S. MAES-3DMF: mapeamento estrutural de um Modelo Analógico do Espaço Sideral 3D em Meio Fluido para o ensino de Ciências. **Latin American Journal of Science Education**, v. 5, n. 22004, 2018.

BARBOSA, W. V. **Análise da sistematicidade de analogias em contextos de ensino e de pesquisa na educação em ciências**. 2019. 221 f. Dissertação (Mestrado em Educação

Tecnológica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

FERRY, A. da S. **Análise Estrutural e Multimodal de Analogias em uma Sala de Aula de Química. 2016.** 170f. (Tese Doutorado Educação em Ciências) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

FERRY (ORG.), A. D. S. **Pesquisas sobre Analogias no contexto da Educação em Ciências à luz da Teoria do Mapeamento Estrutural (Structure-mapping theory).** São Paulo: Livraria da Física, 2018.

GALAGOVSKY, L.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 2, p. 231-242, 2001.

GENTNER, D. Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy. **Cognitive Science**, v. 7, p. 155–170, 1983.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. **Modelling-based teaching in science education.** Cham, Switzerland: Springer International Publishing, v. 9, 2016.