

# DIFICULDADES DOS ALUNOS NA CONSTRUÇÃO DE MODELOS MENTAIS DE LIGAÇÃO METÁLICA BASEADOS NA ANALOGIA DO “MAR DE ELÉTRONS”

## STUDENTS’ DIFFICULTIES IN MODELLING THE METALLIC BONDING FROM THE “SEA OF ELECTRONS” ANALOGY

**Nilmara Braga de Carvalho<sup>1</sup>**  
**Rosária S. Justi<sup>2</sup>**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, Núcleo de Pesquisa em Ensino de Química,  
<sup>1</sup> nilmarab@yahoo.com.br , <sup>2</sup> rjusti@ufmg.br

### Resumo

Pesquisas no ensino de ligação metálica através da analogia do “mar de elétrons” – como a que norteia este artigo – demonstram que os alunos apresentam problemas na compreensão do tema. Motivadas pela nossa experiência em sala de aula e pelos relatos encontrados na literatura, buscamos detectar as principais dificuldades dos alunos em construir um modelo mental de ligação metálica originadas da analogia do “mar de elétrons”. Os resultados indicam que a maioria dos alunos não compreende a analogia utilizada, associa a expressão “mar de elétrons” apenas à disposição das partículas constituintes dos metais e não identifica as limitações dessa analogia. Esses resultados ressaltam a necessidade e importância da investigação sobre como a promoção de discussões – entre professores e entre um professor e seus alunos – com relação à interpretação e limitações de analogias utilizadas no ensino do tema pode favorecer a ocorrência de aprendizagem significativa.

**Palavras-chave:** Analogias, Modelos mentais, Mar de elétrons, Ligação metálica.

### Abstract

Studies on the teaching of the metallic chemical bonding based on the “electrons’ sea” analogy – as the one that support this paper – show that students have difficulties in understanding the theme. Motivated by both our teaching experiences and reports from the literature, we try to identify the main difficulties that students find in elaborating a mental model for the metallic bonding from the “electrons’ sea” analogy. The results make evident that the majority of the students (i) do not understand the analogy, (ii) associate the expression “electrons’ sea” only to the relative position of the constituent particles of the metals, and (iii) do not identify the limitations of the analogy. Such results emphasise the need of investigations about how the promotion of discussions – among teachers and between a teacher and his/her students – about the understanding and the limitations of analogies used in teaching may foster the occurrence of meaningful learning.

**Keywords:** Analogies, Mental models, Electrons’ sea, Metallic bonding.

## INTRODUÇÃO

### Modelos e Analogias

Segundo Gilbert (1993, p. 5), “*modelo* é uma representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema. Tal representação pode ser usada para fazer previsões, guiar pesquisas, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação”.

O modelo, num primeiro estágio, existe apenas na mente daquele que o criou e é, por isso, conhecido como *modelo mental*. A partir do momento que existe a necessidade de se expressar esse modelo mental – através de desenhos, analogias, diagramas, gráficos, esquemas ou outra forma mais conveniente – ele passa a ser chamado de *modelo expresso*. Quando um modelo expresso é aceito pela comunidade dos cientistas da área, ele é chamado *modelo consensual* (Gilbert & Boulter, 1995).

O ensino de ciências envolve, muitas vezes, conceitos abstratos e de difícil compreensão. Na tentativa de facilitar o aprendizado, são desenvolvidos *modelos de ensino*: representações dos modelos consensuais que são produzidas – por professores ou autores de materiais instrucionais – com o objetivo específico de ajudar os alunos a entenderem algum aspecto do conteúdo que se deseja ensinar-lhes (Gilbert & Boulter, 1995).

Entre os modelos de ensino, as analogias apresentam um papel muito importante, uma vez que elas propiciam a associação entre um aspecto que é desconhecido pelos alunos (chamado por Glynn – apud Duit, 1991 – de *domínio alvo*) e outro que lhes é familiar (chamado pelo mesmo autor de *domínio análogo*).

Sob o ponto de vista construtivista, aprender é um processo de construção ativa e que só é possível com base no conhecimento prévio adquirido. Em outras palavras, podemos dizer que, nessa perspectiva, aprender é um processo de empregar ativamente o já familiar para entender o não familiar (Duit, 1991). Baseadas em conceitos, relações e imagens já acessíveis aos alunos, as analogias tornam-se, então, fundamentais no processo de construção da aprendizagem de acordo com a abordagem construtivista.

No caso particular do ensino de Química, no qual os aspectos novos a serem entendidos pelos alunos são, em sua maioria absoluta, abstratos, o uso de analogias como modelos de ensino mostra-se relevante, uma vez que elas podem facilitar a compreensão desses aspectos por pontuar similaridades com o mundo real (Duit, 1991).

### A analogia do “mar de elétrons” como modelo de ensino de ligação metálica

Amaral (s/d, p. 2), com o objetivo de descrever a ligação metálica, faz uso do seguinte modelo:

*“Às vezes, há relativamente poucos elétrons nas camadas externas dos átomos que interagem entre si. Usando a tabela periódica, sabemos que esses serão átomos das primeiras colunas da tabela e que tenderão a ser aqueles com os maiores raios atômicos, entre os átomos de um mesmo período. Havendo poucos elétrons e sendo grandes os raios atômicos, as ligações localizadas entre um par de átomos tenderão a ser fracas. Para conseguir o máximo de abaixamento de energia, as ligações não serão entre átomos localizados, mas os elétrons tenderão*

*a se deslocalizar, interagindo com um número maior de núcleos atômicos. Isso significará que, individualmente considerado, cada par de átomos vizinhos terá uma fraca ligação entre si. Em compensação, todos os átomos interagirão (fracamente) com todos os outros. O resultado de um grande número de interações atrativas, individualmente fracas, será uma interação global forte.”*

Na tentativa de facilitar o entendimento desse modelo foi criada a analogia do “mar de elétrons”, segundo a qual os elétrons de valência dos átomos de metais se movimentariam livremente entre seus cátions (íons positivos), como a água em um mar, no qual tais íons estariam submersos.

Espera-se, com a utilização dessa analogia, que os alunos sejam capazes de compreender significativamente a deslocalização dos elétrons e a sua interação com vários núcleos atômicos. No entanto, pesquisas têm constatado que existe uma grande dificuldade por parte deles em construir modelos mentais baseados na analogia do “mar de elétrons” (Coll & Treagust, 2003; de Posada, 1999; Taber, 2003).

## **Problemas na utilização de analogias**

### **Aspectos gerais**

O potencial das analogias para favorecer a aprendizagem dos alunos é reconhecido por inúmeras pesquisas na área de educação (por exemplo, Duit, 1991; Glynn, 1991; Monteiro e Justi, 2000; Taber, 2001). Apesar disso, seu uso por professores e autores de livros-texto é reconhecido por essas mesmas pesquisas como limitado.

No Brasil, uma pesquisa sobre analogias em livros didáticos de Química destinados ao ensino médio, revelou que os autores utilizam poucas analogias. Segundo as autoras,

*“Isso parece evidenciar que eles desconhecem o potencial das analogias como modelos de ensino e aprendizagem de uma ciência tão abstrata como a Química”* (Monteiro e Justi, 2000, p. 22).

O reflexo desses resultados aparece quando alunos fazem uso das analogias. Embora, segundo Duit (1991), os estudantes procurem freqüentemente compreender um fenômeno utilizando-se de analogias, o uso dessas sem a orientação do professor ou do livro-texto no sentido de estabelecer as diferenças entre os domínios análogo e alvo, assim como suas limitações, pode levar a interpretações errôneas do objeto de ensino e outros a ele relacionados.

Um outro problema muito comum na utilização de analogias acontece quando o domínio análogo não é familiar ao estudante. Apesar de isto contrariar a própria definição de analogia – que pressupõe a utilização de um domínio análogo familiar aos alunos, na maioria das vezes, parece que isso não é percebido por professores e autores de livros-texto. Nesse caso, as concepções errôneas do domínio análogo são transferidas para o domínio alvo, o que inviabiliza o raciocínio analógico (Duit, 1991). Aspectos como esses apontam para a importância de professores e autores de livros-texto conhecerem mais sobre o papel de modelos de ensino e sobre como os mesmos podem ser utilizados no ensino de ciências.

### Processo de ensino-aprendizagem de ligação metálica

Vários pesquisadores, entre eles Coll e Treagust (2001), discutem que a confusão no uso dos modelos tem origem na abordagem utilizada no ensino desse tema. Segundo Taber (2003), para que o ensino seja efetivo, o professor deve conhecer tanto as estruturas de conhecimento pessoal dos alunos quanto a estrutura pública formal do conhecimento científico. Sendo assim, o conhecimento prévio do aluno poderia funcionar como um “alicerce” sobre o qual se construiria o conhecimento científico desejado e a analogia poderia servir como ponte entre os dois conhecimentos.

Na prática da sala de aula, porém, na maioria das vezes, isso não acontece – como comprovado pelas investigações no ensino de ligação metálica através da analogia do “mar de elétrons”. Uma dessas investigações aponta que, com frequência, os alunos utilizam explicações referentes a ligações covalentes ou iônicas quando são solicitados a dar explicações sobre aspectos da ligação metálica (Taber, 2003). Outras conclusões relevantes dessa pesquisa são que os alunos parecem aceitar a metáfora de ‘mar’ sem críticas, tendem a desenvolver a idéia de cátions e/ou elétrons flutuando, nadando, etc. em um mar, apresentam idéias de vasto excesso de elétrons (o qual não é possível na estrutura de um metal neutro), ou ainda, de que a função dos elétrons na estrutura metálica é servir de “cola”.

Analisando livros didáticos brasileiros, foi possível observar o mesmo que foi constatado por de Posada (1999) em livros espanhóis: que a maior parte deles explica que cátions e elétrons se atraem reciprocamente, porém não justifica a estabilidade do modelo. Concordamos com a opinião de de Posada de que justificar a estabilidade nesse tipo de ligação é de suma importância, pois a ausência dessa justificativa pode levar estudantes a questionar porque os átomos, quando perdem seus elétrons de valência, não sofrem fortes forças de repulsão. Isso poderia induzir estudantes a acreditar que raciocínios lógicos não são utilizados nesse caso.

Uma outra causa de insucesso no processo de ensino-aprendizagem de ciências é a linguagem antropomórfica utilizada por professores e autores de livros didáticos. Parece que eles acreditam que sua linguagem será interpretada pelos alunos de acordo com o sentido metafórico que ela carrega. Todavia, geralmente, os estudantes dão um sentido literal à sua fala ao invés de reconhecer os aspectos metafóricos utilizados.

Ainda considerando o uso da linguagem, outros problemas aparecem em livros didáticos. Como enfatizado por de Posada:

*“Embora algumas palavras sejam muito comuns no contexto extra-escolar, algumas não são suficientemente diferenciadas em seu conteúdo acadêmico nos livros-texto analisados. Eles devem reconhecer a polissemia das palavras científicas e, em consequência, expressar explicitamente seus atributos compartilhados e não compartilhados”* (de Posada, 1999, p. 434).

A leitura dos trechos de livros brasileiros relativos ao ensino de ligações metálicas mostrou que, muitas vezes, os autores não se preocupam com a expressão explícita dos significados das palavras. Isso pode ser observado, por exemplo, no trecho abaixo:

*“Por esse modelo (‘mar de elétrons’), os átomos perdem seus elétrons externos e estes passam a formar um “mar” em que estariam mergulhados os cátions”* (Lembo, 2001, p. 172, grifo nosso).

Considerando a realidade dos alunos, podemos considerar que é bastante provável que a leitura desse trecho contribua para que eles visualizem os elétrons como entidades que podem, por exemplo, controlar a direção de seu mergulho de acordo com sua vontade própria.

## OBJETIVOS

Muitas das concepções alternativas dos alunos sobre ligações metálicas relacionam-se com a analogia do “mar de elétrons”, único modelo apresentado no ensino desse tema. Motivadas pela nossa experiência em sala de aula e por relatos encontrados na literatura que apontam para uma grande dificuldade dos alunos em entender a formação da ligação metálica e acreditando que a partir do entendimento de como os alunos realmente entendem a analogia do “mar de elétrons” podemos fundamentar propostas para o ensino desse tema que resultem em aprendizagem significativa dos alunos, conduzimos o presente trabalho. Seu objetivo principal foi detectar as dificuldades dos alunos em construir um modelo mental de ligação metálica originadas da analogia do “mar de elétrons”.

## METODOLOGIA

Os dados foram coletados através de um questionário constituído de cinco questões: a primeira solicitava que os alunos expressassem suas próprias idéias (através de desenhos e verbalmente) sobre como os átomos de ferro se mantêm unidos; a segunda solicitava que eles explicassem o que entendiam pela expressão “mar de elétrons”; a terceira investigava se a idéia do “mar de elétrons” os ajuda ou não a entender como os metais são formados; na quarta questionamos sobre o fato de existirem ou não problemas no uso da expressão “mar de elétrons” com relação à formação dos metais; e, finalmente, na quinta, solicitamos que os alunos explicassem o fato de os metais conduzirem corrente elétrica. Tais questões resultaram da análise de um estudo piloto.

É importante ressaltar que a opção pela utilização de um questionário escrito foi feita porque pretendia-se conhecer as idéias de um número significativo de alunos. Além disso, questionários podem ser aplicados por qualquer professor em suas salas de aula. Nesse sentido, essa pesquisa pode ser um fator incentivador para que outros professores investiguem as idéias de seus alunos sobre esse tema.

A versão final do questionário foi aplicada a três turmas de alunos do Ensino Médio de uma escola particular de Belo Horizonte. A amostra constituiu-se de 102 (cento e dois) alunos, cuja faixa etária variava entre 14 e 16 anos. Os alunos haviam terminado o estudo de ligações químicas três semanas antes de responderem o questionário. Tal estudo ocorreu segundo uma abordagem tradicional, na qual o professor e o livro didático apresentaram verbalmente o conteúdo e os alunos esclareceram suas dúvidas. A idéia de “mar de elétrons” foi discutida, mas sem enfatizar que a mesma se tratava de uma analogia.

Para analisar os dados obtidos, foram criadas categorias que buscavam reunir respostas semelhantes. A elaboração dessas categorias de análise ocorreu a partir de duas frentes: os objetivos propostos para as questões e as próprias respostas apresentadas pelos alunos. Tal análise foi realizada, inicialmente, de forma independente pelas duas pesquisadoras. Os resultados foram, então, comparados e discutidos objetivando atingir um consenso. Em seguida, a análise realizada foi submetida à apreciação de outra pesquisadora que não havia participado da elaboração do sistema de categorias. Assim, uma triangulação de pesquisadores (Janesick, 2000) foi aplicada buscando garantir a validade da análise dos dados. Os principais resultados

obtidos nas quatro questões iniciais, assim como detalhes sobre o sistema de categorias elaborado serão apresentados a seguir.

## RESULTADOS

Os quadros apresentados nesta seção foram organizados de maneira a explicitar as principais idéias contidas nas respostas e justificativas dos alunos, o número e o percentual de alunos que expressou essas idéias. Algumas vezes será observado que o percentual total é maior do que 100%. Isso se deve à ocorrência de respostas de um mesmo aluno contendo mais de uma idéia.

As respostas dos alunos para a primeira questão foram, inicialmente, categorizadas, em função de seu conteúdo. As categorias criadas foram: “aceitas cientificamente”, quando o conteúdo explicava como os átomos de ferro se mantêm unidos; “não aceitas cientificamente”, quando o conteúdo evidenciava a existência de concepções alternativas ou atribuía a formação da estrutura dos metais a aspectos que são consequência da mesma; “vagas”, quando não era possível caracterizar o pensamento completo do aluno e “em branco”.

**Quadro 1. Respostas dos alunos sobre como os átomos de ferro se mantêm unidos.**

Tipo de Resposta	Idéia Principal	Nº	%
Aceita cientificamente	Existência de forças interativas	29	28,4
	Abaixamento da energia do sistema	3	2,9
Não aceita cientificamente	Propriedades dos metais	28	27,5
	Confusão entre ligação metálica e outros tipos de ligação	16	15,7
	Confusão entre entidades presentes	14	13,7
	Fatores internos à estrutura metálica	8	7,8
	Choque entre átomos	1	1,0
Vaga	Ligação metálica	21	20,6
	Energia	7	6,8
	Mar de elétrons	6	5,9
	Elétrons livres	6	5,9
Em branco		5	4,9

Considerando-se que as idéias categorizadas como “aceitas cientificamente” no quadro 1 são válidas para todos os tipos de ligação química e que somente um aluno explicitou a natureza das forças interativas existentes nos metais, a análise dessa primeira resposta dos alunos não possibilitou a identificação de modelos coerentes de ligação metálica usados pelos alunos. Por outro lado, desconsiderando-se as respostas que expressavam mais de uma idéia, 54 alunos (52,9%) expressaram claramente modelos que não são aceitos cientificamente e 16 destes confundiram a ligação metálica com outro tipo de ligação. Esse tipo de resposta pode ter origem na tentativa de interpretação da deslocalização dos elétrons a partir do conhecimento anterior dos alunos sobre ligações iônica e/ou covalente. Outros 36 dentre os 54 alunos citados expressaram idéias vagas, que também demonstravam não entendimento do modelo de ligação metálica. Todos esses dados indicam que a maioria absoluta dos alunos não foi capaz de expressar e utilizar o modelo que lhes havia sido ensinado na escola para explicar a formação de uma estrutura metálica, evidenciando, através das idéias expressas que muitos deles, que eles simplesmente memorizaram algumas expressões utilizadas no ensino.

Seguindo o mesmo critério, as respostas dos alunos para o significado da expressão “mar de elétrons” também foram inicialmente classificadas como “aceitas cientificamente”, “não aceitas cientificamente” e “vagas”. Os resultados são apresentados no quadro 2.

**Quadro 2. Significados atribuídos pelos alunos para a expressão “mar de elétrons”.**

Tipo de Resposta	Idéia Principal	Nº	%
Aceitas cientificamente	Elétrons em movimento entre cátions/átomos	15	14,7
	Elétrons livres responsáveis pela união entre átomos	4	3,9
Não aceitas cientificamente	Muitos elétrons	31	30,4
	Elétrons mergulhados/espalhados no sistema	23	22,5
	Elétrons livres caracterizados de forma incorreta	13	12,7
	Confusão com modelos atômicos	12	11,8
	Confusão entre entidades presentes	12	11,8
	Elétrons ligados entre si	11	10,8
	Confusão com outros tipos de ligação/ interação	8	7,8
Respostas vagas	Propriedades dos metais	1	1,0
	Elétrons livres	16	15,7
	Átomos unidos	2	2,0

Apenas 18,6% dos alunos relacionaram a expressão “mar de elétrons” com elétrons em movimento ou livres. Esse dado corrobora a idéia de Coll e Treagust (2003) de que parece que os alunos vêem os elétrons livres como o aspecto chave da ligação nos metais, uma vez que este aspecto é enfaticamente destacado no ensino. Entretanto, acreditamos que o problema na compreensão da ligação metálica não é exatamente a recorrência ou não à idéia de elétrons livres, mas sim o fato de os alunos associarem a ligação metálica somente à presença de elétrons livres, sem qualquer referência à força de atração que mantêm as espécies unidas ou ao empacotamento dos cátions.

Na categoria de respostas “não aceitas cientificamente”, 31 alunos (30,4%) associaram a expressão “mar de elétrons” a muitos elétrons. Esse tipo de resposta significa que a noção particular de “mar” implica um vasto número de elétrons – o que implica em remover qualquer integridade estrutural do metal (Taber, 2003). Ainda segundo Taber (2003), ao tentar atribuir sentido à expressão, os alunos interpretam-na literalmente, quer dizer, trazendo associações com elétrons flutuando, boiando, nadando, mergulhados – outra concepção cuja frequência entre os alunos participantes dessa pesquisa foi relativamente grande: 22,5%.

Um tipo de resposta que também merece destaque foi fornecido por 11 alunos (10,8%) que apresentavam a idéia de elétrons ligados entre si, associada à expressão “mar de elétrons”, na qual o aspecto contínuo da água (domínio analógico) é transferido para o domínio alvo, evidenciando a uma indistinção entre os aspectos compartilhados e não compartilhados entre os dois domínios. Isso indica que esses alunos não reconhecem a idéia como uma analogia ou aceitam a analogia de forma não crítica, sem pensar nas conseqüências de tais imagens na formulação de explicações para a estrutura e as propriedades dos metais.

Vale ainda destacar o que foi comentado anteriormente sobre a influência do conhecimento prévio do aluno no seu aprendizado subsequente. Os dados coletados nos mostram que, ao fornecerem explicações para expressão “mar de elétrons”, 32 alunos (31,4%) utilizaram,

erroneamente, seus conhecimentos sobre modelos atômicos, ligações químicas ou entidades químicas, estudados anteriormente. Isso ressalta a importância das analogias poderem ser detectoras de concepções alternativas em temas já ensinados (Duit, 1991).

Quando solicitados a analisar a influência da idéia de “mar de elétrons” na compreensão do tema ligação metálica, as justificativas apresentadas pelos alunos foram categorizadas como:

*Aceita cientificamente e evidenciada pela analogia.* Isso foi evidenciado através de idéias como:

“Sim, porque sabendo que os metais são formados por elétrons livres entre cátions, justifica (sic) algumas de suas características como, por exemplo: condutividade elétrica, maleabilidade, condutividade de calor e capacidade de serem dúcteis.” (A100)

*Não compreensão da analogia.* Isso foi evidenciado através de idéias como:

“Acho que não. Porque o uso de mar de elétrons nos dá a entender que os elétrons estão soltos e não respeitam um (sic) ordem. O mais correto seria correnteza de elétrons porque ficam dando voltas.” (A3)

*Reconhecimento do papel de analogias no ensino.* A idéia mais freqüente foi:

“A idéia do mar de elétrons me ajuda a entender como os metais são formados, pois essa expressão faz com que eu memorize mais facilmente e guarde para entender a formação dos metais.” (A9)

*Negativa do papel de analogias no ensino.* Isso foi evidenciado através de idéias como:

“Não, na verdade a idéia do mar de elétrons confunde a minha cabeça, não consigo imaginar fisicamente a idéia de elétrons estarem soltos numa ligação.” (A15)

*Reconhecimento de limitações na analogia.* As idéias mais freqüentes foram:

“Um pouco, não muito, porque por essa expressão podemos tirar a idéia de que os metais são formados por ligações iônicas.” (A34)

“A idéia de ‘mar de elétrons’ nem sempre me ajuda a entender como os metais são formados. Pois em uma liga metálica há a interação entre os elétrons livres? Levando em consideração que os metais tendem a perder elétrons...” (A94)

A freqüência de ocorrência dessas justificativas é apresentada no quadro 3. O fato de a maioria dos alunos (53,9%) não compreender a idéia de “mar de elétrons” vem validar o dado comentado anteriormente de somente 18,6% deles terem sido capazes de explicar adequadamente o significado da expressão “mar de elétrons”. Outras justificativas fornecidas pelos alunos evidenciaram aspectos como o entendimento de que a analogia faz parte da ligação ou é uma característica dela, caracterizando uma negativa do estabelecimento da analogia. Sendo assim, provavelmente esses alunos: não conseguiram criar uma imagem visual para “mar de elétrons”, não identificaram corretamente as relações analógicas ou, ainda, não entenderam o significado de uma analogia.

É importante notar que apenas 3 alunos (2,9%) consideraram que a analogia apresenta limitações e, destes, apenas um questionou o fato de a analogia não justificar a estabilidade da

estrutura metálica. Isso aponta para a necessidade de uma ampla discussão sobre as limitações da analogia.

**Quadro 3. Justificativas atribuídas pelos alunos para a influência da idéia de “mar de elétrons” na compreensão do tema ligação metálica.**

Justificativas	Nº	%
Aceita cientificamente e evidenciada pela analogia	23	22,5
Não compreensão da analogia	55	53,9
Reconhecimento do papel de analogias no ensino	14	13,7
Negativa do papel de analogias no ensino	7	6,8
Reconhecimento de limitações na analogia	3	2,9
Em branco	12	11,8

As justificativas expressas pelos alunos para suas respostas sobre a existência de problemas no uso da expressão “mar de elétrons” foram categorizadas como:

*Reconhecimento do papel de analogias no ensino.* As idéias mais frequentes foram:

“Não porque se a idéia de ‘mar de elétrons’ for bem explicada e a relação que ela tem com a formação dos metais também, essa expressão é qualificada” (A70)

*Não aceita cientificamente e não evidenciada pela analogia.* Nesses casos, além de o conteúdo da justificativa demonstrar alguma concepção alternativa, esta não era evidenciada pela analogia. Exemplo:

“Não porque é uma característica dos metais e está correto afirmar a existência de mar de elétrons” (A6)

*Não compreensão da analogia.* Isso foi evidenciado através de idéias como:

“Sim. Os elétrons, apesar de fazerem parte de um metal, são parte insignificante, se comparados com outras partículas que também compõem o metal.” (A95)

*Aceita cientificamente e evidenciada pela analogia.* Exemplo:

“Não. Porque ajuda a compreender a movimentação dos elétrons.” (A10)

*Identificação de limitações na analogia.* Exemplo:

“Para mim, existe um problema em utilizar a expressão ‘mar de elétrons’, pois há uma certa confusão na idéia dos elétrons serem livres, mas existirem íons positivos no ‘espaço’.” (A77)

*Não aceita cientificamente e evidenciada pela analogia.* Nesses casos, o conteúdo da justificativa demonstra alguma concepção alternativa gerada pela má compreensão da analogia ou pela incompreensão de suas limitações. Exemplo:

“Não. Porque é através dos elétrons unidos, ou seja, “mar de elétrons” que se formam os metais. Ocorre a atração desses elétrons.” (A28)

*Negativa do papel de analogias no ensino.* Isso foi evidenciado através de idéias como:

“Sim, pois dificulta o entendimento de alguns alunos” (A29)

A frequência de ocorrência dessas justificativas é apresentada no quadro 4.

**Quadro 4. Justificativas expressas pelos alunos para suas respostas sobre a existência de problemas no uso da expressão “mar de elétrons”.**

Justificativas	Nº	%
Reconhecimento do papel de analogias no ensino	26	25,5
Não aceita cientificamente e não evidenciada pela analogia	23	22,5
Não compreensão da analogia	16	15,7
Aceita cientificamente e evidenciada pela analogia	12	11,8
Identificação de limitações na analogia	11	10,8
Não aceita cientificamente e evidenciada pela analogia	12	11,8
Nega o papel de analogias no ensino	2	2,0
Em branco	4	3,9

A análise desse quadro corrobora nossa discussão anterior sobre a não compreensão da analogia pelos alunos, uma vez que apenas 10,8% deles foram capazes de identificar limitações na mesma. Os demais alunos, tendo reconhecido o papel de analogias no ensino em geral ou tendo expressado outras idéias – pertinentes ou não – em relação à analogia, não demonstraram uma visão crítica em relação à mesma, conforme pode ser comprovado através da resposta abaixo na qual o aluno apresenta confusão no sentido metafórico da analogia:

“Sim. Porque o mar enferruja os metais.” (A03)

## CONCLUSÕES

O ensino de Química, conforme destacado anteriormente, envolve a compreensão por parte dos alunos de aspectos que, em sua grande maioria, são abstratos. Nesse caso, o papel das analogias como modelos de ensino, mostra-se relevante no sentido de facilitar a compreensão dos novos conceitos.

Em relação à ligação metálica, a analogia presente no modelo do “mar de elétrons” poderia então, ajudar os alunos a entender o processo de formação dos metais e a explicar certas propriedades destes. Ao contrário, o que se observa nesta e em outras pesquisas na área (Coll & Treagust, 2003; de Posada, 1999; Taber, 2002, 2003) é que a utilização da analogia do “mar de elétrons” pelos alunos, os tem conduzido a inúmeras inferências errôneas.

As prováveis origens dessas inferências podem ser encontradas no processo de ensino-aprendizagem do tema ligação metálica e na própria analogia. Com relação ao processo de ensino-aprendizagem do tema, destacamos:

- o uso da analogia sem a devida orientação do professor no sentido de estabelecer as diferenças entre os domínios análogo e alvo e as limitações da analogia;

- a não percepção, por parte dos professores e autores de livros-texto, de que a analogia utilizada não é familiar aos alunos;
- a utilização, por professores e autores, de uma linguagem antropomórfica carregada de sentido metafórico, sem a preocupação com a expressão explícita dos significados das palavras;
- a ignorância por parte dos professores do conhecimento prévio de seus alunos.

Por outro lado, em relação à contribuição da própria analogia do “mar de elétrons” para as inferências errôneas, verifica-se que ela não enfatiza:

- a formação do arranjo tridimensional dos cátions e, muito menos, que as estruturas resultantes variam entre os diferentes metais (aspecto que seria essencial para que os alunos entendessem propriedades dos metais como, por exemplo, a densidade);
- a existência de forças atrativas entre cátions e elétrons como responsável pela união dos mesmos e estabilidade da estrutura. Ao contrário, a ênfase na liberdade dos elétrons parece fazer com que seja difícil conciliar essa idéia com a da existência de forças de atração;
- a existência de forças de repulsão entre os cátions e entre os elétrons, assim como a importância das mesmas para a definição e manutenção da estrutura tridimensional.

Em outras palavras, o único aspecto enfatizado é a mobilidade dos elétrons – muitas vezes sem clareza sobre quais elétrons podem estar deslocalizados em um determinado metal.

Isso não implica, entretanto, que a analogia do mar de elétrons não deva ser introduzida no ensino. O que defendemos é que, como no caso de todas as outras analogias utilizadas como modelos de ensino, os professores promovam a discussão:

- das idéias prévias dos alunos importantes para o entendimento da mesma (como, por exemplo, o significado de naturezas elétricas diferentes e das forças possíveis de existir entre entidades de diferentes naturezas elétricas) quando ela for introduzida pela primeira vez;
- das partes positivas da analogia, mas enfatizando que elas não esgotam a explicação da formação da ligação;
- das partes negativas da analogia, a fim de que os alunos não as tomem como positivas e, a partir daí, sejam capazes de propor explicações coerentes para as propriedades dos metais;
- do papel da analogia na compreensão do modelo científico proposto para explicar a formação dos metais. Isso seria essencial para que os alunos não utilizassem a analogia como se ela fosse a própria ligação metálica.

Além disso, considerando que o objetivo principal do estudo de ligações químicas é fundamentar o entendimento das propriedades e dos comportamentos dos materiais, acreditamos ser de extrema importância que os processos de ensino de eletricidade e ligação metálica (assim como, futuramente, o de eletroquímica) sejam melhor articulados entre as disciplinas Química e Física, visando uma aprendizagem significativa do conteúdo por parte dos alunos e a elaboração de modelos mentais capazes de modificar suas explicações do senso comum (como defendido nos PCN+ (Brasil, 2002)).

**REFERÊNCIAS**

- Amaral, L.O.F. *A ligação metálica*. Belo Horizonte: Departamento de Química da UFMG. (Manuscrito inédito), s/d.
- Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN+ Ensino Médio – Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*, Brasília: Ministério da Educação, 2002.
- Coll, R.K. and Treagust, D.F. Learners' mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, Vol. 31, pp. 357-382, 2001.
- Coll, R.K. and Treagust, D.F. Learners' mental models of chemical bonding: a cross-age study. *Science Education*, Vol. 87, No. 5, pp. 685-707, 2003.
- De Posada, J.M. The presentation of metallic bonding in high school science textbooks during three decades: science educational reforms and substantive changes of tendencies. *Science Education*, Vol. 83, No. 4, pp. 423-447, 1999.
- Duit, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, Vol. 75, No. 6, pp. 649-672, 1991.
- Gilbert, J.K. *Models & Modelling in Science Education*. Hatfield: The Association for Science Education, 1993.
- Gilbert, J.K. and Boulter, C.J. Stretching models too far. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, 22-26 April, 1995.
- Glynn, S.M. Explaining Science Concepts: A Teaching-with-Analogies Model. In S.W. Glynn, R.H. Yeany and B.K. Britton (eds.) *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1989. pp. 219-240.
- Janesick, V.J. The choreography of qualitative research design. In: N.K. Denzin & Y.S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research*. Thousand Oaks, USA: Sage, 2000. pp. 379-399.
- Lembo, A. *Química – Realidade e contexto*. 1. ed. São Paulo: Ática, 2001.
- Monteiro, I.G. e Justi, R.S. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 5, No. 2, pp. 8-79, 2000.
- Taber, R. When the analogy breaks down: modeling the atom on the solar system. *Physics Education*, Vol. 36, No. 3, pp. 222-226, 2001.
- Taber, R. *Chemical misconceptions – preventions, diagnosis and cure. Volume I: theoretical background*. London: Royal Society of Chemistry, 2002.
- Taber, R. Mediating mental models of metals: acknowledging the priority of the learner's prior learning. *Science Education*, Vol. 87, No. 5, pp. 732-758, 2003.
- Treagust, D., Duit, R., Joslin, P. and Lindauer, I. Science teachers' use of analogies: observations from classroom practices. *International Journal of Science Education*, Vol. 14, No. 4, pp. 413-422, 1992.