

# MODELAGEM E REPRESENTAÇÕES NO ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS: ANÁLISE EM UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO

## MODELLING AND REPRESENTATIONS IN THE TEACHING OF IONIC BONDS: ANALYSIS IN A TEACHING STRATEGY

Poliana Flávia Maia Ferreira<sup>1</sup>  
Ariadne dos Santos Queiroz<sup>2</sup>  
Paula Cristina Cardoso Mendonça<sup>3</sup>  
Rosária da Silva Justi<sup>4</sup>

<sup>1, 2 e 3</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Educação, Faculdade de Educação,  
<sup>1</sup>polianamaia@yahoo.com.br  
<sup>2</sup>ariadneq@terra.com.br  
<sup>3</sup>paulaquimica2003@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química e Programa de Pós-graduação em Educação,  
rjusti@ufmg.br

### Resumo

O uso de representações na ciência e, em especial, na química, tem importância amplamente reconhecida no desenvolvimento do conhecimento por possibilitar a compreensão e comunicação de fenômenos invisíveis ou abstratos. O ensino de química, por sua vez, tem como desafio levar os estudantes a entender essas representações e transformar uma na outra. Para isto, estratégias de ensino baseadas em atividades de modelagem têm apresentado grande potencial em criar oportunidades para os estudantes construir, interpretar e avaliar representações. Este trabalho analisa a aplicação de uma estratégia de ensino de ligações iônicas, fundamentada em construção e reformulação de modelos, enfocando o processo de representação envolvido na mesma. Elementos do processo de ensino que contribuíram para o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes sobre os níveis de representação usados em ciências (macroscópico, sub-microscópico e simbólico) são apresentados e discutidos, bem como a contribuição do uso dessas representações para o desenvolvimento do conhecimento químico.

**Palavras – chaves:** representação, modelagem, ensino de química, ligação iônica

### Abstract

The use of representations in the science and, especially, in chemistry, has its importance thoroughly recognized in the development of the knowledge by making possible the understanding and communication of invisible or abstract phenomena. One of the challenges of the chemistry teaching is to favour students' understanding of those representations and changing of one into another. For this, teaching strategies based on modelling activities have presenting great potential in creating opportunities for students to build, to interpret and to evaluate representations. This work analyses the application of a modelling-based teaching strategy of ionic bonds, focusing the representation process involved in it. Elements of the teaching process that contributed to the development of the students' knowledge on the representation levels used in science (macroscopic, sub-microscopic and symbolic) are presented and discussed, as well as the contribution of the use of those representations for the development of chemical knowledge.

**Keywords:** representation, modelling, chemistry teaching, ionic bond

## INTRODUÇÃO

O uso de representações na ciência tem importância amplamente reconhecida por seu papel no desenvolvimento do conhecimento, principalmente por possibilitar a ilustração de fenômenos invisíveis ou abstratos que não podem ser observados ou experimentados diretamente (Buckley, 2000 apud Cook, 2006). Isso é amplamente necessário devido ao caráter explicativo e abstrato da ciência que, por isso, está intrinsecamente vinculada a uma instância representativa.

A construção de imagens pode trazer dados importantes sobre fenômenos e conceitos, tornando mais viável a compreensão dos mesmos. Além disso, ciência e tecnologia se desenvolvem através de trocas de informação, muitas delas na forma visual, como diagramas, ilustrações, mapas, e esquemas (Mathewson, 2005). Nesse processo, os conceitos científicos precisam ser intercambiados e as representações visuais são especialmente importantes.

Na química, especialmente, os vários conceitos e idéias complexas e abstratas demandam, para sua compreensão e comunicação, o emprego de representações ilustrativas e modelos concretos. Para os cientistas, as múltiplas representações são familiares, e estes transitam entre elas de maneira natural, o que é inerente ao próprio processo de investigação científica. Isto porque, ao estudar um determinado fenômeno, um químico (como os demais cientistas) parte, em geral, de representações do fenômeno no nível macroscópico (produzidas a partir do fenômeno em si, que pode ser visto e manipulado).

O processo de investigação que se segue (i) envolve a construção de modelos para explicar as observações feitas e subsidiar explicações no nível sub-microscópico (fornecendo explicações sobre o que ocorre no sistema em termos de átomos, moléculas ou outras partículas) e (ii) envolve a representação do fenômeno no nível simbólico (no qual há o uso de códigos de representação adequados). Assim, o trabalho do químico envolve, de forma inerente, os três níveis de representação: macroscópico, sub-microscópico e simbólico.

O ensino de química, por sua vez, tem como um de seus desafios favorecer a compreensão dos estudantes sobre cada uma dessas representações e sobre as transformações de uma na outra – o que não é tarefa simples. As explicações dos fenômenos e processos estão quase sempre no nível sub-microscópico – que não pode ser observado, mas que é descrito e explicado com modelos mentais, muitas vezes expressos através de símbolos (Treagust e Chittleborough, 2001). O uso de representações no ensino desta disciplina tem por objetivo facilitar a *visualização*, isto é, a formação de imagens mentais de entidades abstratas e, a partir disso, a compreensão da natureza, propriedades e comportamento das mesmas. Tais idéias dão suporte ao entendimento de que aprender química consiste em encontrar sentido no invisível e no intocável (Kozma e Russel, 1997). Desta maneira, o uso de representações no ensino de química é inerente ao processo de aprendizagem e as relações entre os três níveis de representação – sub-microscópico, macroscópico e simbólico – são essenciais para o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes e para que estes compreendam o processo de construção da ciência.

## MODELAGEM E REPRESENTAÇÕES NO ENSINO DE QUÍMICA

A utilização de estratégias de ensino baseadas em atividades de modelagem<sup>1</sup> tem-se mostrado com grande potencial para auxiliar na elaboração de representações pelos estudantes. Isto porque tais atividades criam oportunidades para os estudantes vivenciarem uma situação em que eles são engajados na construção de representações pessoais e verificarem se estas são coerentes com as explicações cientificamente aceitas. Essas atividades, pelo potencial de associarem a observação de fenômenos e/ou a análise de conceitos e idéias à construção de modelos, permitem que os alunos transitem entre diferentes níveis e formas de representação, o que contribui para que eles

---

<sup>1</sup> Aqui entendida como um processo dinâmico de construção e reformulação de modelos.

as compreendam. Além disso, os alunos têm a oportunidade de melhorar suas habilidades de pensar sobre e comunicar idéias complexas (Mathewson, 2005).

Os livros didáticos usados no ensino trazem uma variedade de representações simbólicas e bidimensionais<sup>2</sup>, mas, para a maioria dos estudantes, é difícil coordenar essas representações na compreensão de conceitos e fenômenos. Tipicamente, os alunos inexperientes não fazem uso de múltiplas representações, utilizando apenas uma que lhe pareça mais familiar ou simplificada. Quando ocorre transição entre diferentes níveis ou formas de representação, na maioria das vezes os estudantes têm dificuldade para compreender as representações utilizadas (Seufert, 2003 apud Cook, 2006) e a correspondência entre elas.

Disso emerge a necessidade da promoção da construção de representações pelos estudantes para o desenvolvimento e a compreensão de modelos e das próprias representações. Nesta perspectiva, o processo de modelagem permite evidenciar que modelos não são ‘reais’ ou ‘factuais’ e que é necessário diferenciar entre um determinado modelo e a(s) característica(s) da entidade que ele está tentando representar. Os alunos podem perceber, ainda, que não há um único modelo ‘correto’. As qualidades e limitações de cada modelo precisam ser discutidas a fim de que os estudantes avaliem sua exatidão e mérito (Hardwicke, 1995), e o ensino baseado em modelagem pressupõe essa discussão.

O professor, por outro lado, pode observar o desenvolvimento conceitual de seus estudantes, avaliar em que grau estes conseguem fazer transposições entre representações e detectar possíveis concepções alternativas, que podem estar associadas à não compreensão de alguns conceitos básicos requeridos (de conteúdo ou sobre o próprio processo de elaboração de modelos e representações destes). Nesse sentido, é notável a necessidade de que o professor conheça, de maneira satisfatória, os conhecimentos prévios dos alunos, pois eles constroem seu entendimento a partir destes conhecimentos, isto é, o processo de aprendizagem é fortemente influenciado por eles. Variações em como os alunos interpretam representações visuais são também amplamente devidas a seu conhecimento já existente (Cook, 2006). Quando se trata de construir estas representações visuais, como ocorre no processo de ensino baseado em modelagem, confirma-se essa influência.

Considerando a potencialidade do uso de atividades de modelagem para o desenvolvimento do conhecimento de conteúdos específicos e, em especial, de conhecimentos associados ao uso de representações na química, este trabalho apresenta uma análise da aplicação de uma estratégia de ensino, fundamentada em atividades de construção e reformulação de modelos, enfocando o processo de representação envolvido na mesma. Nesta análise, busca-se evidenciar elementos do processo de ensino que podem ter contribuído para o desenvolvimento do conhecimento sobre os níveis de representação usados em ciências (macroscópico, submicroscópico e simbólico), bem como a possível contribuição do uso dessas representações para o desenvolvimento do conhecimento químico.

A estratégia de ensino citada foi desenvolvida para o ensino do conteúdo de ligações iônicas<sup>3</sup>, tema de alto grau de abstração, que requer a construção de múltiplas representações para uma compreensão ampla do mesmo.

---

<sup>2</sup> Devido à limitação do próprio recurso, os livros apresentam como representações bidimensionais modelos tridimensionais. Isto, contudo, é diferente da própria representação tridimensional, pela impossibilidade de manipulá-la e visualizá-la sob diversos ângulos.

<sup>3</sup> Esse tema foi escolhido levando-se em consideração as concepções alternativas já relatadas na literatura (Taber, 1994; 1997; Coll e Treagust, 2003) sobre o mesmo. Buscando evitar que tais concepções fossem desenvolvidas no ensino desse tema, foram criadas atividades que tinham como intuito levar o aluno à construção de modelos com base em seus conhecimentos prévios e em novas informações fornecidas no contexto de ensino. Acreditávamos que, dessa maneira, possíveis concepções alternativas futuras seriam evitadas e os alunos poderiam aprender significativamente sobre o tema através das oportunidades de construção de modelos (tanto sobre conteúdo quanto sobre uma das maneiras pela qual a ciência é construída).

## A PESQUISA

### CARACTERIZAÇÃO DO ENSINO

A aplicação da estratégia de ensino sobre ligação iônica foi elaborada a partir de determinados conteúdos químicos, cujo conhecimento prévio é essencial para o desenvolvimento da mesma: modelo cinético-molecular; modelo atômico de Bohr e a distribuição eletrônica em níveis de energia; utilização da tabela periódica e as propriedades energia de ionização, afinidade eletrônica e raio atômico; elétrons de valência e Lei de Coulomb. Além desses conteúdos químicos, para o bom desempenho dos alunos era necessário que os mesmos apresentassem um conhecimento mínimo sobre modelos<sup>4</sup> e modelagem<sup>5</sup>.

A elaboração da estratégia de ensino de ligação iônica teve o diagrama ‘Modelo de Modelagem’, proposto por Justi e Gilbert (2002), como referencial teórico. Esse diagrama consiste em uma representação das etapas envolvidas em um processo de construção de modelos, tendo sido elaborado a partir de reflexões sobre o processo vivido por cientistas. Ele se mostra como uma proposta bastante coerente, uma vez que as etapas necessárias para a proposição de um modelo não são fixas e não seguem, necessariamente, uma seqüência linear – em concordância com a maneira idiossincrática como os modelos são construídos na ciência. Para a elaboração das atividades, também foram levados em consideração dados sobre energia envolvida na formação de substâncias iônicas e diferentes retículos cristalinos dos compostos iônicos.

Cada uma das atividades da estratégia de ligação iônica<sup>6</sup> foi elaborada no sentido de contemplar as etapas envolvidas no processo de modelagem, sem que as mesmas fossem explicitadas aos estudantes. No quadro 1 são apresentados os problemas gerais abordados em cada uma das atividades de modelagem e seus objetivos.

**Quadro 1: Descrição resumida de cada atividade da estratégia de ensino de ligação iônica.**

<b>Atividade</b>	<b>Problema</b>	<b>Objetivo</b>
1. Quando uma substância é formada?	Explicar o que ocorre quando um pedaço de magnésio é queimado e libera grande quantidade de energia.	Entender como ocorre a ligação química em termos gerais, enfocando abaixamento de energia e estabilidade.
	Discutir a forma como encontramos as substâncias na natureza.	Perceber que para uma substância existir é necessário que as condições sejam favoráveis à sua formação e manutenção.
	Investigar e propor explicações para a “garrafa mágica” (sistema que muda sua coloração quando é agitado e/ou deixado em repouso)	Entender que o sistema inicial era o mais estável por ser o menos energético e que a diferença de energia entre os dois sistemas era muito pequena (diferentemente do primeiro experimento).

<sup>4</sup> Espera-se que eles possuam uma noção sobre o que são modelos (representação parcial da realidade que apresenta uma finalidade específica), de suas funções (visualização, comunicação, síntese de dados, explicações e previsões), do caráter provisório dos mesmos e do fato de poder existir mais de uma representação para um mesmo fenômeno.

<sup>5</sup> É importante que o aluno tenha oportunidade de modelar uma entidade não química anteriormente à modelagem de um sistema químico, para que possa se concentrar na tarefa de modelar e desenvolver habilidades de modelagem.

<sup>6</sup> Para obter mais detalhes sobre a estratégia de ensino ver os artigos “Modelagem no ensino de ligação iônica com ênfase em aspectos energéticos: Evidências de aprendizagem” e “Transição do modelo ‘NaCl molécula’ para o ‘NaCl em rede’: análise crítica de um processo de ensino por modelagem” a serem apresentados no VI ENPEC, além de Justi e Mendonça (2007).

	Discussão do gráfico de energia potencial em função da distância internuclear	Tratar as curvas de abaixamento de energia como modelos que se aproximam dos dados experimentais e que buscam explicar a estabilidade de sistemas químicos.
2. Um modelo para formação de íons	Propor um modelo para a formação de íons, em específico íon sódio e cloreto, utilizando dados de 1ª energia de ionização e afinidade eletrônica.	Relacionar a formação de íons com explicações (nível sub-micro) envolvendo energia e forças de atração – ao invés de simplesmente utilizando regras, como a do octeto.
3. Como os íons interagem?	Propor um modelo (nível sub-micro) para o sistema sal de cozinha dissolvido em água (nível macro).	Promover a modelagem do NaCl a partir de um sistema conhecido, para os alunos explicitarem seus conhecimentos prévios e desenvolverem suas primeiras idéias sobre as ligações existentes nele.
	Propor um modelo (nível sub-micro) para esse sistema após a evaporação de água (nível macro).	
	Justificar o modelo.	Relacionar a formação da substância com forças de atração e repulsão, energia e estabilidade.
4. Testar o modelo para o cloreto de sódio	Usar o modelo construído na atividade anterior para explicar a elevada temperatura de fusão do NaCl.	Perceber que o modelo construído deve explicar os dados empíricos no nível sub-micro. Compreender uma propriedade importante dos sólidos iônicos.
5. Atração entre íons em rede	Propor um novo modelo ou modificar o anterior, através de um novo dado fornecido (quantidade de energia liberada na formação de pares $\text{Na}^+\text{Cl}^-$ e de uma rede de íons).	Reformulação dos modelos do tipo ‘molécula NaCl’. Confirmar a validade de modelos não moleculares (várias atrações, possibilidade de rede <sup>7</sup> ).
6. Proposição de um modelo consensual para o cloreto de sódio	Utilizar o modelo reformulado do NaCl para explicar sua temperatura de fusão e outras propriedades de substâncias iônicas (serem duros quebradiços e apresentarem planos de clivagem).	Oportunidade, para os alunos que não tinham conseguido pensar numa estrutura mais complexa de íons, de reformular seus modelos. Testar o modelo reformulado para compreender, no nível sub-micro, a temperatura de fusão. Testar o modelo para compreensão de outras propriedades.
	Calcular o valor da energia de rede para o NaCl através de um método termodinâmico.	Relacionar a formação de substâncias iônicas aos aspectos energéticos. Relacionar a energia liberada na formação da rede iônica ao poço do gráfico discutido na atividade 1.

<sup>7</sup> O desenvolvimento de modelos em rede para o NaCl significa uma compreensão adequada das ligações existentes neste composto, correspondendo ao modelo que se buscou desenvolver com esta estratégia de ensino.

Ao final desta sequência de atividades, o professor deve promover um fechamento enfocando as principais características do modelo eletrostático para os compostos iônicos e discutir o tipo de estrutura de outras substâncias iônicas.

### **CARACTERIZAÇÃO DO CONTEXTO DE ENSINO**

A pesquisadora 3 era professora da turma envolvida nessa pesquisa. Portanto, ela tinha conhecimento dos conteúdos abordados durante aquele ano letivo. A turma em que a estratégia de ensino foi aplicada era do 2º ano do ensino médio de uma escola pública federal localizada em Belo Horizonte e era constituída por 32 alunos, que trabalhavam comumente em grupos<sup>8</sup> de 5 a 6 componentes fixos. A maioria desses alunos não havia estudado ligação química nessa escola<sup>9</sup>.

Todas as atividades descritas no quadro 1 foram realizadas de acordo com seus respectivos objetivos. Conforme sugerido pela própria estratégia de ensino, a professora promoveu um fechamento enfocando características do modelo eletrostático associados a diversos compostos iônicos e discutiu aspectos de estruturas iônicas distintas do cloreto de sódio.

### **COLETA DE DADOS**

Após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG e assinatura de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido por parte dos alunos e de seus responsáveis, as aulas foram filmadas enfocando as discussões entre os alunos e entre os alunos e a professora. Também foram recolhidas todas as atividades escritas produzidas pelos alunos em cada uma das atividades, além de anotações de campo realizadas pela professora, registrando momentos importantes das aulas.

### **ANÁLISE DE DADOS**

Os dados coletados foram integrados na elaboração de estudos de caso para cada um dos grupos de estudantes. Esses estudos de caso buscavam caracterizar o processo do desenvolvimento do conhecimento dos estudantes sobre ligação iônica. A opção pela construção de estudos de caso ocorreu por esta ser uma forma de apresentar uma rica descrição dos acontecimentos, organizando-os em uma narrativa cronológica. Isto torna possível identificar os elementos, ao longo do processo de ensino, que contribuíram para o desenvolvimento das idéias dos estudantes (Cohen, Manion, & Morrison, 2000).

A análise dos estudos de caso foi realizada buscando evidenciar como os diferentes níveis de representação foram usados e relacionados na construção do conhecimento, destacando momentos em que a construção das representações pelos estudantes foi favorecida pelo processo de ensino e, ainda, como a construção das representações contribuiu para o desenvolvimento do conhecimento do conteúdo trabalhado.

Os momentos dos estudos de caso que subsidiaram a análise proposta neste trabalho concentraram-se naqueles em que os alunos construíram e apresentaram seus modelos para a turma, em especial nos contextos das atividades 3, 4, 5 e 6.

---

<sup>8</sup> Essa prática é rotineira nessa instituição escolar nas disciplinas da área de ciências, que valorizam o trabalho em grupo como fundamental num processo de ensino-aprendizagem construtivista.

<sup>9</sup> Alguns alunos já haviam estudado esse tema no ensino fundamental, no 1º ano do ensino médio em outra instituição escolar ou, ainda, em curso preparatório para ingresso nessa escola. Todavia, os próprios alunos reconheceram, nas discussões com a professora, que não se recordavam do que havia estudado antes ou, ainda, que o que eles já haviam visto sobre o tema não contribuiu para a elaboração de seus modelos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O primeiro modelo construído pelos estudantes consistiu na representação da substância cloreto de sódio sólido, o que foi realizado a partir da fórmula NaCl, apresentada pela professora na atividade 3 e do conhecimento anterior dos alunos sobre os íons que constituíam essa substância, discutido na atividade 2 (ver quadro 1).

A transposição da representação simbólica da fórmula  $NaCl$  para modelos concretos, resultou na elaboração de modelos ‘NaCl molécula’ (isto é, um átomo de sódio unido a um de cloro) pela maioria dos grupos (5 dos 6 grupos representaram este tipo de modelo). Na construção deste modelo, os alunos representaram vários pares ‘NaCl’ uma vez que, para eles, o sólido era constituído pela interação entre as ‘moléculas de NaCl’, não podendo ser representado por um único par. Nessa representação, eles buscaram diferenciar a ligação existente entre os íons  $Na^+$  e  $Cl^-$  da interação existentes entre os pares de NaCl. Isto ficou explícito na representação do grupo 6 (figura 1), que evidencia “ligações” de tamanhos diferentes entre as bolinhas.

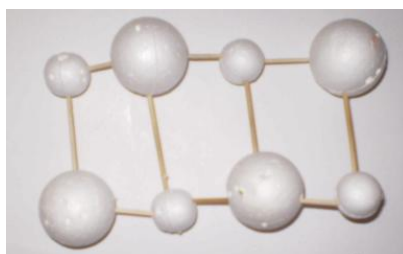


Figura 1: Modelo do grupo 6 – Interações entre ‘moléculas de NaCl’.

A representação construída pelo grupo 2 foi semelhante àquela do grupo 6. Contudo devido à dificuldade de representar a interação entre os pares de NaCl, construídos com bolinha de isopor e palito (figura 2A), o grupo optou por usar massinha de modelar para a construção da representação.



Figura 2: Modelos do grupo 2 para o NaCl.

Apesar de ter construído a representação mostrando a ligação entre vários pares de NaCl, um dos alunos deste grupo, sem convicção da sua idéia sobre como os pares estariam ligados entre si, separou os pares e retornou a dúvida ao grupo (figura 2B). Naquele momento, com base na representação construída, a professora iniciou um questionamento sobre esta representação:

- Profa.: Essas seriam as várias moléculas<sup>10</sup>?*  
*A1G2: É, de NaCl.*  
*Profa.: E aquilo que você tinha juntado...*  
*A2G2: Poderia ser o sólido.*

<sup>10</sup> O termo *moléculas* foi introduzido na discussão pelos próprios alunos, sem que, a princípio, a professora os corrigisse.

*Profa.: É!*  
*AlG2: Mas aí parece que a força de ligação é igual à interação.*

Este diálogo explicita como os códigos usados no processo de representação levaram a um questionamento fundamental sobre a ligação, em que a análise da representação apontou para a questão da magnitude das forças de ligação presentes no composto iônico.

Em seguida, a professora lembrou ao grupo a Lei de Coulomb, a partir da qual os estudantes analisaram o modelo do composto, construído por eles (figura 2B), como resultado de interação entre cargas.

Apesar de ainda permanecerem com a idéia de que as ligações entre os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  são mais fortes do que a entre os pares de íons NaCl, o grupo construiu uma nova representação (figura 3) que, com base na interpretação da Lei de Coulomb, apresentava a diferença da intensidade das ligações através do aumento da distância entre os pares. Isto é, se a *ligação* (dentro do par NaCl) é mais forte do que a interação (entre pares de NaCl), a distância da interação maior explica a menor força desta, a partir da Lei de Coulomb.



**Figura 3: Modelo construído pelo grupo 2 com massinha e palito, demonstrando a diferença de intensidade das ligações e das interações através das distâncias de ligação.**

A construção deste modelo demonstrou a transferência realizada pelos alunos de uma representação simbólica (a equação que expressa a Lei de Coulomb:  $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ )<sup>11</sup> para a representação no nível sub-micro, em que a análise da primeira levou a modificações na segunda, tornando a representação compatível com o modelo que eles haviam construído para a ligação.

O grupo 1, inicialmente, representou vários pares NaCl sem que houvesse ligação entre estes e, após a observação do modelo e das discussões de grupo 2 com a professora (figura 2B), propôs uma ligação dos pares iônicos em cadeia (figura 4). Ao serem questionados pela professora sobre o porquê daquela representação, os alunos afirmaram ter modificado seu modelo a partir das idéias do outro grupo. Isto evidencia a importância da socialização de idéias entre os grupos para a reelaboração de suas representações.

**A**

**B**

---

<sup>11</sup>  $F$  representa as interações eletrostáticas entre as cargas, que são consideradas como puntiformes,  $k$  é uma constante, que depende do meio,  $Q_1$  e  $Q_2$  se referem às cargas das partículas e  $r$  representa a distância entre as mesmas.



**Figura 4: Modelos representados pelo grupo 1: A- desenho e B-concreto.**

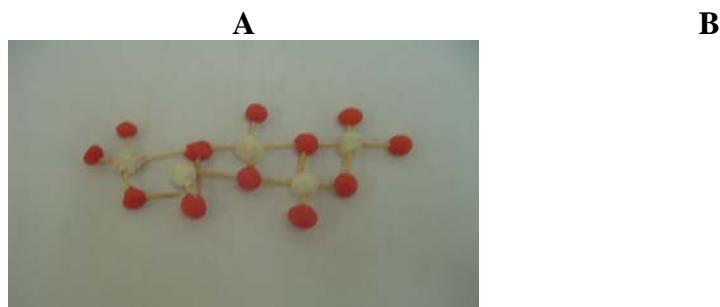
Para as representações do composto NaCl, todos os grupos fizeram uso de massinhas e palitos. O uso da massinha foi justificado pelos grupos pela facilidade de diferenciar os “átomos Na e Cl” (sic), representando a diferença de seus raios iônicos e, ainda, pela facilidade de conectar bolinhas de massinha, com ou sem o uso de palitos (dependendo da representação construída). Sobre os materiais e as formas de representação utilizadas, alguns alunos explicitaram o conhecimento sobre as limitações dos meios de representação e, ainda, a diferença entre a representação construída, o modelo mental que haviam elaborado para o sistema e a realidade:

*“Na verdade não tem um palitinho que junta os átomos.”*

*“Os átomos não são isso (bolinhas). Isso é só uma representação.”*

Os conhecimentos prévios dos estudantes foram elementos que forneceram subsídios fundamentais ao desenvolvimento de certas idéias, como observado em relação ao grupo 5 que, a partir da idéia de que uma solução aquosa de cloreto de sódio é eletrolítica, concluiu que ela tem íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  e abandonou a idéia da existência de ‘NaCl molécula’. Este grupo apontou, ainda, que o modelo ‘NaCl molécula’, apesar de não representar o NaCl sólido (pois não representa as várias ligações existentes entre os íons), é um modelo que representa a proporção 1:1 do NaCl. Desta maneira, o grupo reconheceu a diferença entre a representação simbólica (fórmula ‘NaCl’) e a estrutura do composto (representada em duas ou três dimensões).

Ainda na construção do primeiro modelo para o NaCl sólido, o grupo 4 foi o único que construiu a representação deste em rede<sup>12</sup>, sem apresentar a idéia de ‘NaCl molécula’. Vale destacar que este grupo usou representações diferenciadas para o nível sub-microscópico ao expressar o modelo de forma concreta (com massinha e palitos) e bidimensional (desenhado) (figura 5).



**Figura 5: Modelos construídos pelo grupo 4: A- concreto e B- desenho.**

Apesar da representação das ligações com palitos no modelo concreto, a não representação das ligações no desenho (que deixou explícita apenas a idéia de atração entre as cargas dos íons constituintes) parece indicar que os estudantes compreendiam que as ligações não são entidades físicas. Isto evidenciou uma boa compreensão sobre a Lei de Coulomb (anteriormente estudada na disciplina Física), o que permitiu que esta lei fosse aplicada nesse novo contexto.

A turma, como um todo, desenvolveu suas idéias sobre a ligação iônica como uma ligação em rede, sem a formação de ‘moléculas de NaCl’, a partir de dois elementos essenciais: (i) a introdução de dados sobre as energias envolvidas na formação de pares iônicos e rede iônica e (ii) a interpretação da Lei de Coulomb e aplicação da mesma ao modelo.

A professora discutiu com os grupos a relação desses elementos com os seus modelos, usando, para isto, os modelos concretos construídos por eles para explorar suas idéias. Isto pôde

<sup>12</sup> O modelo em rede consiste em um modelo mais próximo do modelo científico, capaz de explicar de maneira mais adequada as ligações nos compostos iônicos.

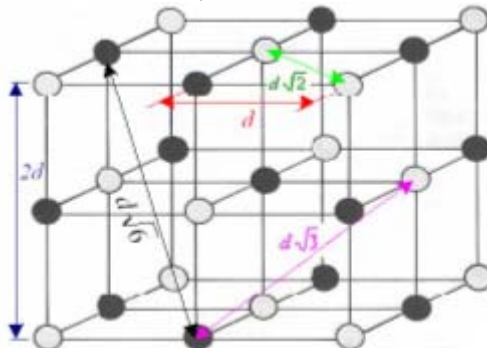
ser observado na discussão com o grupo 1, quando a professora usou o modelo concreto do grupo para questioná-los sobre o que eles pensavam a respeito do processo de fusão (se ocorre a separação de íons ou de moléculas). Para isto, ela manipulou o modelo produzido por eles (figura 4B), apresentando as duas possibilidades: moléculas separadas ou íons separados. Isto proporcionou uma oportunidade para o grupo usar seu modelo na interpretação de um dado empírico. Além disso, a professora pôde checar as idéias dos estudantes sobre o conhecimento químico que estava sendo desenvolvido.

A evolução das idéias dos estudantes para a formação de ligações em rede foi acompanhada pela construção de representações que explicitaram as diversas ligações existentes entre os íons do composto.

O grupo 1, ao analisar a representação para o composto iônico, desenhada no quadro pela professora (semelhante ao desenho da figura 4), chamou atenção para a limitação daquela representação, justificando que o modelo deveria representar uma estrutura tridimensional, mostrando maior número de ligações no composto (o que explicaria a elevada temperatura de fusão deste). Neste momento, foi possível perceber que estes alunos relacionaram um dado empírico (temperatura de fusão) à representação sub-microscópica da estrutura, demonstrando a habilidade de transitar entre o fenômeno e o modelo, testando e aplicando este último na elaboração de explicações.

O dado fornecido sobre a quantidade de energia utilizada para romper as ligações existentes entre um mol de íons no cristal NaCl foi usado pela professora através de um relacionamento das distâncias existentes entre os íons e a força existente entre eles, o que foi feito com a interpretação da Lei de Coulomb e apresentação da figura 8:

*“É através da análise do modelo da estrutura utilizando a Lei de Coulomb, observando todas as distâncias interatômicas, que eu chego neste valor aqui (energia de rede igual a 206kcal/mol).”*



**Figura 6: Destaque das distâncias entre íons no retículo cúbico do NaCl.**

Esta abordagem proporcionou aos estudantes a oportunidade de relacionar diferentes níveis de representação.

Durante o fechamento do processo de ensino, a professora apresentou diferentes formas de representação nos níveis macroscópico e sub-microscópico, através do uso de fotos que representavam diversos compostos iônicos (como a calcita,  $\text{CaCO}_3$ , hematita,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , entre outros) e modelos bidimensionais (desenhos) que representavam as estruturas daqueles compostos, explicitando a geometria de seus retículos cristalinos. Representações diferenciadas foram apresentadas para um mesmo composto, sendo usados desenhos de modelos de ‘bola e linha’ e de modelos de estrutura compacta. Estas representações foram relacionadas entre si e, a seguir, os alunos foram solicitados a inferir sobre a estrutura de outros compostos iônicos, levando em conta seus raios iônicos e, com isso, a distribuição de íons no retículo. A partir disto, os estudantes se mostraram capazes de fazer previsões sobre a geometria de outros compostos, conforme expresso na fala de um aluno em relação à previsão sobre a estrutura do CsCl (elaborada em comparação à do NaCl).

*“A distância entre os íons vai ter que ser diferente, mas a estrutura pode ser igual.”<sup>13</sup>*

Propriedades dos compostos iônicos (como serem duros e quebradiços) foram relacionadas ao modelo de ligação proposto e interpretadas a partir do mesmo. Figuras e fotos de compostos iônicos foram usadas na discussão sobre planos de crescimento dos cristais e de clivagem, permitindo o estabelecimento de relações entre representações macroscópicas e sub-microscópicas. Os alunos também observaram e manusearam modelos tridimensionais para vários compostos iônicos (como carbonato de cálcio, fluoreto de cálcio, sulfeto de zinco, cloreto de cério), disponibilizados pela professora. Durante a observação dos modelos, os estudantes explicitaram uma boa compreensão dos retículos analisados, identificando a proporção entre os íons em cada estrutura representada e as diversas ligações efetuadas no retículo. Eles explicitaram a contribuição do uso de diferentes tipos de representação e, em especial, da construção destas para a compreensão da estrutura dos compostos:

*“Construir e usar os modelos ajuda a ver porque a proporção é um pra um, se tem esse monte de ligação.”*

Este mesmo aluno afirmou que acreditava que não teria entendido a proporção entre os íons na estrutura de um retículo se apenas tivesse visto o desenho da estrutura no livro:

*“...eu já tinha visto esses modelos no livro ano passado, mas assim dá pra entender que esse está ligado com esse, com esse e com esse (referindo-se à ligação existente entre um íon com vários outros dentro do retículo).”*

Assim, os próprios estudantes reconheceram que construir, usar e manipular os modelos em diversas formas de representação foram elementos capazes de contribuir de forma significativa para o desenvolvimento dos seus conhecimentos.

## CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

A análise da aplicação da estratégia de ensino mostrou seu grande potencial para o desenvolvimento do conhecimento de ligações iônicas, sendo observado o gradual desenvolvimento do conhecimento do conteúdo associado ao aumento da capacidade dos estudantes de integrarem múltiplas representações, construídas por eles ou disponibilizadas pela estratégia de ensino ou pela própria professora.

As atividades desenvolvidas contribuíram para os estudantes desenvolverem e demonstrarem capacidades associadas ao processo de representação, fundamentais no aprendizado em química:

### 1. *Construir representações para determinados propósitos*

As representações construídas pelos estudantes, envolvendo a elaboração de códigos e o uso de formas de representação não estudados anteriormente, possibilitou a análise de seus próprios modelos mentais, desenvolvendo a habilidade de expressão e adequação de suas idéias aos meios de representação, sempre buscando atender às solicitações das atividades propostas.

### 2. *Desenvolver e compreender os códigos de representações*

A construção de representações para seus modelos, independente do nível em que ocorria, requereu dos estudantes a elaboração e o uso de códigos que expressassem suas idéias, tendo

---

<sup>13</sup> Segundo o aluno, o CsCl também poderia se organizar em um retículo cúbico, apresentando, porém, maior distância entre os íons Cs<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, em comparação à distância entre o Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, devido à diferença dos raios iônicos de Cs<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>.

contato com as limitações inerentes ao processo de representação e, com isso, reconhecendo a diferença entre esta e o modelo original, ou mesmo entre esta e a própria realidade.

### 3. *Transpor uma forma de representação para outra*

A transição entre os níveis de representação (sub-microscópico, macroscópico e simbólico) mostrou-se necessária tanto na construção quanto na comunicação de conceitos científicos e modelos, quando os estudantes usaram informações e modelos prévios, apresentados sob diferentes tipos de representação (gráfico, tabela, modelos bidimensionais), para o desenvolvimento de suas idéias e construção das representações de seus modelos.

A professora teve papel fundamental neste aprendizado sobre as representações, na medida em que, ao longo do processo, ela fez referência às estruturas dos compostos a partir de suas fórmulas, evidenciando as diferenças entre os tipos de representação, além de relacionar a estrutura sub-microscópica às propriedades macroscópicas (plano de clivagem e crescimento de cristais).

A consideração de nossas conclusões por professores de ciências, particularmente de química, pode sustentar modificações em contextos de ensino que objetivem favorecer aos estudantes oportunidades de elaborar suas próprias representações para diferentes entidades ou processos, de analisar a coerência e aplicabilidade das mesmas, de entender o significado de múltiplas representações e como transformar umas nas outras (como ocorreu no processo de ensino fundamentado em modelagem analisado neste trabalho). Acreditamos que isso poderá resultar no desenvolvimento do conhecimento dos estudantes sobre o tema em estudo e sobre os processos de construção de conhecimento em ciências.

**AGRADECIMENTOS:** CNPQ e Fapemig

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Cohen, L., Manion, L., e Morrison, K. *Research Methods in Education* (5th ed.). London and New York: RoutledgeFalmer. 2000.
- Cook, M.P. Visual representations in science education: the influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, n.90, p.1073-1091. 2006
- Coll, R. K. e D. Treagust. Investigation of secondary school, undergraduate and graduate learner's mental models of ionic bond. *Journal of Research in Science Teaching*, v.40, p.464 - 486. 2003.
- Justi, R. e J. K. Gilbert. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, v.24, n.4, p.369-387. 2002.
- Justi, R. S. e P. C. C. Mendonça. *Modelling in order to learn an important sub-micro representation: the nature of ionic bond*. Artigo apresentado na VI Conferência da ESERA. Malmö, Suécia. 21-25 agosto, 2007.
- Kozma, R. B., e Russell, J. Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 34, p. 949-968. 1997.
- Mathewson, J. H. The visual core of science: definition and applications to education. *International Journal of Science Education*, v.27, n.5, p.529-548. 2005.
- Taber, K. S. Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry*, v.31, p.100 - 103. 1994.
- \_\_\_\_\_. Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework? *School Science Review*, v.78, p.85 - 95. 1997.
- Treagust, D. F. e G. Chittleborough. Chemistry: A matter of understanding representations. *Subject-Specific Instructional Methods and Activities*, v.8, p.239-267. 2001.