

Paula Cristina Cardoso Mendonça

**‘LIGANDO’ AS IDÉIAS DOS ALUNOS
À CIÊNCIA ESCOLAR: ANÁLISE
DO ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA
POR MODELAGEM**

Belo Horizonte

2008

Paula Cristina Cardoso Mendonça

**‘LIGANDO’ AS IDÉIAS DOS ALUNOS À CIÊNCIA
ESCOLAR: ANÁLISE DO ENSINO DE LIGAÇÃO
IÔNICA POR MODELAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação.

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Rosária da Silva Justi.

Belo Horizonte
Faculdade de Educação da UFMG
2008

Dedico este trabalho, e tudo o que ele representa para mim, a meus dedicados pais, Antônio e Gilda, ao meu querido esposo, Eduardo, e à melhor orientadora, Rosária.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me capacitado na realização deste trabalho.

Aos meus pais, que foram as pessoas que mais acreditaram, sonharam, torceram por mim e me apoiaram em todos os momentos da minha vida.

Ao meu esposo Eduardo, pela paciência, palavras de apoio, recursos e apoio técnico em vários momentos decorridos durante a realização do mestrado. Sou muito grata e feliz por todo carinho, dedicação e companheirismo.

Aos meus familiares, pela alegria, satisfação e vibração durante vários momentos desta caminhada e pelos momentos roubados de suas companhias.

A professora Rosária Justi, pelas discussões, orientações, empenho, dedicação e disponibilidade. Agradeço-lhe por ter, nas aulas de IEQ, despertado o meu interesse pela área de pesquisa em Ensino de Química e também pelos ensinamentos que me fizeram crescer como pesquisadora, professora e pessoa.

A minha amiga Poliana, por gentilmente se disponibilizar para me acompanhar durante a coleta de dados e pelas boas contribuições e prestatividade durante o processo.

A todos os amigos do Núcleo de Pesquisa em Educação em Ciências, por colaborarem nas análises, pela troca de idéias e pelos conhecimentos compartilhados.

A diretora Norma e a vice-diretora Rosemary da Escola Estadual Margarida Brochado, pela boa receptividade à proposta de realização da pesquisa.

Aos alunos da Escola Estadual Margarida Brochado, que se empenharam ao máximo nesta pesquisa.

Ao professor Luiz Otávio (Tavinho), pelas boas idéias, ricas discussões e sugestões bibliográficas.

Aos professores Maria Eunice, Tarciso, Carmen e Gilmar, por gentilmente aceitarem ser os examinadores dessa dissertação.

A todos os professores da Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação que contribuíram para minha formação em suas disciplinas e discussões.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro para a realização desse trabalho.

A todos aqueles que estiveram presentes durante essa caminhada, dando apoio e incentivo para sua conclusão e, por fim, a todas as pessoas que crêem que a educação é o principal caminho para um mundo melhor, **MUITO OBRIGADA!!!**

“Aquele que ensina está sempre a aprender, é cotidianamente agraciado com o convívio reabastecedor dos jovens, é obrigado por dever do ofício a se atualizar, é contaminado pela esperança, é desafiado a ter fé e jamais pode esquecer, pela natural confiabilidade da juventude, que a boa vontade é o estado de espírito mais essencial à transformação do mundo”.

(Leticia Parente)

RESUMO

As propostas atuais para o ensino de ciências defendem a inserção dos alunos em atividades que objetivem a percepção da ciência como um construto humano, dinâmico e não linear. Nessa perspectiva, atividades de modelagem para o tema ligação iônica foram produzidas nesse trabalho. A escolha por esse tema se deveu à existência de freqüentes concepções alternativas por parte dos alunos e à necessidade de exploração de modelos, em virtude da natureza abstrata do tema. Na elaboração das atividades utilizou-se o diagrama Modelo de Modelagem como suporte teórico. Nesse trabalho a estratégia de ensino é apresentada e discutida, de forma a evidenciar como ela favoreceu a aprendizagem dos alunos sobre ligação iônica e sobre modelos. Destacamos também a visão dos alunos sobre o próprio aprendizado. Eu era a professora da turma pesquisada (1º ano do ensino médio de uma escola estadual) desde o início do ano letivo. Tal turma era constituída por 15 alunos que tinham idades variando entre 18 a 50 anos e que, durante as atividades de modelagem, trabalharam em grupos. Os dados consistiram das atividades escritas e modelos produzidos no processo de ensino, da avaliação final de conteúdo, da filmagem das aulas, das observações e notas de campo da professora e da pesquisadora responsável pela filmagem. A partir da análise dos dados foram gerados estudos de caso para cada um dos grupos. Os estudos de caso foram analisados observando-se quais elementos da estratégia de ensino favoreceram a aprendizagem de conteúdo e sobre modelos dos alunos. Tais elementos foram identificados como sendo de duas naturezas: (i) teórica, isto é, do diagrama Modelo de Modelagem: relações entre idéias prévias e novos dados, expressões distintas de modelos, julgamento de modelos e (ii) metodológica: papel moderador da professora e trabalho em grupo. Com base na análise, verificou-se a potencialidade do uso desse diagrama como alicerce no ensino fundamentado em modelagem. Os resultados dessa pesquisa suportam recomendações para o ensino de ligação química nos níveis médio e superior e para futuras pesquisas, principalmente a necessidade de estudos similares no nível fundamental e de construção de instrumentos para avaliar o conhecimento em modelagem dos alunos.

ABSTRACT

Current proposals for science teaching advocate that students should participate of activities aimed at the development of their view of science as a human being, dynamic and non-linear construct. From this perspective, modelling-based activities for the teaching of ionic bonding were elaborated in this study. This theme was chosen due to both the existence of many students' alternative conceptions and the need for using models in order to teach such an abstract nature theme. The diagram Model of Modelling was used as the theoretical framework for the elaboration of the teaching activities. In this work, the teaching activities are presented and discussed in such a way to make it evident how it favoured students' learning about both ionic bonding and models. I have been the teacher of the class (1st year of the medium level of a public school) since the beginning of the academic year. The class was composed of 15 students, aged 18-50 years, who worked in groups. The written material and the models produced by the students during the teaching, the final written assessment, the video of the classes, and the teacher's and another researcher's (in charge of the video recording) observations originated the data analysed in this work. From the data analysis, case studies for each group of students were produced. These case studies were analysed in order to identify which elements of the teaching approach had favoured students' learning about both the content and models. Such elements were identified as having two natures: (i) a theoretical one, i.e., from the Model of Modelling, e.g. relationships between students' previous ideas and data provided by the activities, expression of the models in distinct modes of representation, testing of the models; and (ii) a methodological one, e.g. the mediator role of the teacher and the group work. From the data analysis, this work corroborated the use of this diagram as a support for the modelling-based teaching. The conclusions of this research support recommendations for the teaching of ionic bonding in both medium and university levels and for further educational research, mainly the need for conducting similar studies at the fundamental level and the need for proposing research instruments to assess students' knowledge about modelling.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	2
1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	2
2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
DISCUSSÃO DE TEMAS RELEVANTES PARA ESTA PESQUISA A PARTIR DA LITERATURA	8
1. MODELOS NO COTIDIANO, EM CIÊNCIAS E NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	8
2. O PROCESSO DE MODELAGEM	13
3. O ENSINO DE LIGAÇÃO QUÍMICA.....	18
DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA	24
1. QUESTÕES DE PESQUISA	24
2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA E AS METODOLOGIAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS	25
3. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	35
4. DESCRIÇÃO DAS AULAS.....	37
4.1. Atividade 1: Modelos: o que são, exemplos e limitações.....	39
4.2. Atividade 2: Modelagem	42
4.3. Atividade 3: Quando uma substância é formada?	43
4.4. Atividade 4: Um modelo para formação de íons.....	47
4.5. Atividade 5: Como os íons interagem	48
4.6. Atividade 6: Testando o modelo para o cloreto de sódio	50
4.7. Atividade 7: Atração entre íons em rede	51
4.8. Atividade 8: Proposição de um modelo consensual para o cloreto de sódio...	52
4.9. Atividade 9: Uma reflexão sobre o aprendizado da ligação iônica	54
4.10. Avaliação da Aprendizagem.....	54
INVESTIGANDO O APRENDIZADO DE ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS AO TEMA LIGAÇÃO IÔNICA, O APRENDIZADO SOBRE MODELOS E A PERCEPÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O PRÓPRIO APRENDIZADO.....	58
1. ESTUDOS DE CASO	58
2. GRUPO 1	58
2.1. Estudo de Caso	58

2.2. Análise do Estudo de Caso	77
3. GRUPO 2	86
3.1. Estudo de Caso	86
3.2. Análise do Estudo de Caso	103
4. GRUPO 3	109
4.1. Estudo de Caso	109
4.2. Análise do Estudo de Caso	126
5. GRUPO 4	133
5.1. Estudo de Caso	133
5.2. Análise do Estudo de Caso	148
6. ANÁLISE DOS QUATRO ESTUDOS DE CASO	154
6.1. A contribuição do processo para a aprendizagem de alguns aspectos conceituais de ligação iônica	154
6.1.1. Aspectos relacionados ao diagrama modelo de modelagem	154
6.1.2. Aspectos metodológicos: ações empregadas durante a aplicação da estratégia de ensino.....	161
6.2. A compreensão do papel dos modelos na ciência	162
6.3. A percepção dos alunos sobre o próprio aprendizado	164
CONCLUSÕES	167
1. O ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA	167
2. A VISÃO DOS ALUNOS SOBRE MODELOS	169
3. A AVALIAÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O ENSINO POR MODELAGEM.....	170
4. O PROCESSO À LUZ DO DIAGRAMA ‘MODELO DE MODELAGEM’: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO E AÇÕES ENVOLVIDAS PARA SEU DESENVOLVIMENTO.....	171
IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO E A PESQUISA.....	177
1. SOBRE A METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS EMPREGADA NA PESQUISA.....	177
2. O DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS NA ÁREA	178
3. O ENSINO DE LIGAÇÃO QUÍMICA.....	180
APÊNDICES	193
APÊNDICE 1	193
APÊNDICE 2	215
APÊNDICE 4.....	218
APÊNDICE 5	219

APÊNDICE 6	220
APÊNDICE 7	222
APÊNDICE 8	223
APÊNDICE 9	224
APÊNDICE 10	225
APÊNDICE 11	226
APÊNDICE 12	227
APÊNDICE 13	230
APÊNDICE 14	231

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO	2
2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5

INTRODUÇÃO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

Nos documentos contemporâneos sobre o ensino de ciências (por exemplo, AAAS, 1990; Brasil, 1999; Millar & Osborne, 1998) existem várias recomendações relativas à construção de um currículo de ciências que contribua para a formação de cidadãos letrados cientificamente, ou seja, que apresentem conhecimentos necessários para um posicionamento crítico frente ao desenvolvimento tecnológico e aos debates científicos.

Uma dessas recomendações é o não acúmulo, por parte dos alunos, de conhecimentos fragmentados, muitas vezes desvinculados de contexto e obsoletos. Sendo assim, os currículos de ciências devem ser organizados de forma a proporcionar não apenas a transmissão de conhecimentos historicamente desenvolvidos, mas, principalmente, a maneira de raciocinar cientificamente, o que é importante na resolução de problemas. Na concepção de Woolnough (1989):

“É possível ser bom em ciência mediante resolução de problemas científicos, mesmo conhecendo apenas uma quantidade razoável de fatos científicos elementares” (Woolnough, 1989, p.117).

Nesse sentido, os documentos salientam a necessidade de os alunos serem imersos em atividades que objetivem a produção de conhecimentos científicos de forma análoga aos processos ocorridos na ciência. Atividades promissoras quanto a esses fins apresentam caráter investigativo e possibilitam aos alunos o desenvolvimento de várias habilidades (por exemplo, observação, proposição de inferências e hipóteses, análise de resultados e suas implicações, argumentação e comunicação de idéias) (Wellington, 1989), que podem ser transferíveis para outros contextos de sua vida (Brook, Driver, & Johnston, 1989; Woolnough, 1989), o que é coerente com a formação de cidadãos que possam assumir postura crítica na sociedade.

Nesses documentos também se salienta a necessidade de os alunos compreenderem que a prática científica é influenciada por diversos fatores, como as

experiências passadas e a criatividade, e que eles sejam capazes de compreender que um dos principais produtos da ciência são os modelos, que apresentam caráter provisório e limitado.

Atividades voltadas para construção e reformulação de modelos, processo conhecido como modelagem, podem ser uma boa opção na tentativa de atender às exigências contemporâneas para o ensino de ciências. Isso porque elas levam em consideração as idéias prévias dos indivíduos, o caráter limitado dos modelos e apresentam caráter investigativo. Além disso, vários pesquisadores (Erduran, 2001; Justi & Gilbert, 2002; Morrison & Morgan, 1999; Nersessian, 1999; Vosniadou, 2002) apontam a modelagem como sendo uma das principais práticas do processo de pesquisa científica. Assim, aprender através da modelagem pode contribuir para que os alunos aprendam sobre como o conhecimento científico é produzido – aspecto coerente com um ensino de ciências mais autêntico, isto é, que propicia ao aluno uma visão mais ampla da ciência (Gilbert, 2004).

Em relação às pesquisas sobre modelo, algumas relatam as principais dificuldades dos alunos sobre a natureza, a construção e as funções de modelos. Em geral, os alunos os entendem como cópias reduzidas da realidade, que são modificados somente se contém erros ou se seu criador deseja modificá-los. Além disso, muitos alunos apresentam dificuldade de conceber a existência de múltiplos modelos para um mesmo fenômeno ou entidade, de conceber o escopo e as limitações de modelos, de aplicar um modelo em diferentes contextos e de utilizar modelos para realizar previsões. Talvez por isso, eles tenham preferência por modelos concretos e simplificados (Chittleborough, Treagust, Mamiala, & Mocerino, 2005; Coll, France, & Taylor, 2005; Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Harrison & Treagust, 1996; Ingham & Gilbert, 1991; Saari & Viiri, 2003; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002). De acordo com essas pesquisas, as dificuldades dos alunos sobre modelos estão relacionadas à falta de atividades e discussões apropriadas no contexto de ensino. Isso porque o desenvolvimento de noções coerentes sobre modelo na ciência não ocorre através da transmissão de definições formais e nem a partir da discussão de alguns modelos em particular (Clement, 1989; Erduran & Duschl, 2004; Justi & Gilbert, 2003a; Morrison & Morgan, 1999). Portanto, essas pesquisas apontam a necessidade do desenvolvimento de atividades que proporcionem um melhor entendimento dos alunos sobre modelos (como e porque são construídos, natureza, provisoriedade, limitações etc.). Algumas

delas apontam que a inserção dos alunos em processos de construção e reformulação de modelos seriam uma boa oportunidade para o desenvolvimento de um entendimento mais amplo sobre modelos na ciência.

Entretanto, o campo de estudos envolvendo atividades de modelagem ainda é recente. São encontrados poucos trabalhos na literatura que objetivam a construção do conhecimento científico através de situações em que os alunos são solicitados a construir e reformular modelos visando o entendimento de algum conteúdo específico (Barab, Hay, Barnett, & Keating, 2000; Passmore & Stewart, 2002; Raghavan & Glaser, 1995; Taylor, Barker, & Jones, 2003). Essas intervenções foram baseadas em modelagem com utilização de computadores, isto é, nelas foram utilizados softwares computacionais para que os alunos pudessem modelar os fenômenos ou sistemas investigados. Seus resultados evidenciaram que elas proporcionaram aos alunos pesquisados um aprendizado significativo dos conteúdos relacionados (biologia ou física) e uma melhor compreensão sobre modelos.

O fato de existirem poucas pesquisas sobre modelagem no ensino e de algumas delas serem pouco aplicáveis a quaisquer contextos de ensino (por necessitarem do uso de computadores, por exemplo) e, ainda, por investigarem um número reduzido de alunos acarreta a necessidade do desenvolvimento de mais pesquisas sobre o assunto.

Justi e Gilbert (2002) desenvolveram um diagrama intitulado 'Modelo de Modelagem' (a ser explicado no capítulo 2) que apresenta uma organização das etapas necessárias ao processo de modelagem. Esses mesmos autores, em um artigo publicado em 2003 (Justi & Gilbert, 2003a), salientaram a potencialidade do uso desse diagrama para assessorar a construção de atividades de modelagem no contexto de ensino. Ferreira (2006) e Souza (2007) utilizaram esse diagrama como alicerce na confecção de atividades para o ensino de temas químicos – equilíbrio químico e termoquímica, respectivamente. As duas pesquisas citadas ocorreram em situações regulares de ensino.

Levando em consideração a importância de intervenções via modelagem para o aprendizado de conteúdo e de processo científico dos alunos, assim como a possibilidade do uso do diagrama Modelo de Modelagem como alicerce na elaboração de estratégias de ensino, percebemos a necessidade de mais estudos de forma a contribuir para a melhoria do ensino de ciências.

A presente pesquisa utilizou o diagrama Modelo de Modelagem como suporte para a elaboração de atividades de modelagem para o tema ligação iônica, que foram

aplicadas em um contexto real de sala de aula. A escolha desse tema se deveu aos fatos de este ser um tema importante para que os alunos entendam as propriedades e comportamentos dos materiais e de a literatura relatar a existência de concepções alternativas¹ advindos do ensino caracterizado como tradicional (baseado em regras e classificações e em um modelo muito simplificado em relação ao científico, que é incapaz de explicar as propriedades das substâncias que apresentam esse tipo de ligação química) (Barker & Millar, 2000; Butts & Smith, 1987; Coll & Treagust, 2003; Taber, 1994, 1997). Portanto, a abordagem tradicional para esse tema (encontrada na maioria dos livros didáticos e utilizada por muitos professores) é incoerente com as propostas atuais para o ensino de ciências, que salientam a necessidade de o conteúdo ser significativo para o aluno. Somado a isso, tem-se o fato de na literatura não existirem relatos de uma abordagem para o tema baseado em modelagem. Por fim, consideramos também a necessidade do uso de modelos para facilitar o entendimento do mecanismo da ligação e das propriedades de compostos iônicos e a visualização das estruturas de compostos com esse tipo de ligação química.

2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho de dissertação a ser apresentado foi organizado em seis capítulos. Este primeiro capítulo apresenta o contexto no qual a pesquisa realizada se insere. Nele é relatado um panorama geral das pesquisas sobre modelos e modelagem no ensino de ciências e é discutida a necessidade de elaboração de atividades que contribuam para o desenvolvimento de noções adequadas dos alunos sobre modelos e a inserção da modelagem como estratégia de ensino promissora para o ensino de ciências, em concordância com as propostas contemporâneas.

No Capítulo 2 – Discussão de temas relevantes para esta pesquisa a partir da literatura – é apresentada uma revisão bibliográfica sobre as duas temáticas principais

¹ A literatura da área de Ensino de Ciências define como concepções alternativas aquelas idéias dos alunos que são diferentes do conhecimento científico. É importante considerar que concepções alternativas não são, necessariamente, concepções erradas. Muitas vezes, elas são simplesmente simplificações das idéias aceitas pela ciência e, algumas vezes, são bastante semelhantes às idéias expressas por cientistas no passado. Essas idéias podem existir na estrutura cognitiva do indivíduo anteriormente à escolarização (idéias do senso comum) e persistir mesmo após o ensino formal, ou ainda, se desenvolver devido ao tipo de ensino.

que norteiam esse trabalho: modelos (conceito, natureza, funções) e modelagem, enfatizando-se o referencial teórico dessa pesquisa – diagrama Modelo de Modelagem – e o ensino de ligação química, com ênfase em ligação iônica. Nele são também apresentadas justificativas que demonstram a necessidade do uso de modelos no ensino desse tema e da discussão do modelo eletrostático com base nas concepções alternativas que os alunos têm desenvolvido no ensino tradicional desse tema.

O terceiro capítulo – Desenho metodológico da pesquisa – apresenta as questões de pesquisa que nortearam a escolha do método, a metodologia de coleta e análise de dados. Além disso, também é apresentada uma descrição detalhada das atividades elaboradas para o ensino de ligação iônica, assim como o relacionamento das mesmas ao referencial teórico e a alguns temas químicos. Um estudo mais detalhado sobre ligação química, visando facilitar a compreensão do leitor é apresentado no Apêndice 1 desta dissertação.

O quarto capítulo – Investigando o aprendizado de aspectos conceituais relativos ao tema ligação iônica, o aprendizado sobre modelos e a percepção dos alunos sobre o próprio aprendizado – apresenta estudos de caso para cada um dos grupos pesquisados, seguido da análise dos estudos de caso. Ao final é apresentada uma análise dos quatro estudos de caso com foco nas questões de pesquisa propostas no trabalho, isto é, evidenciando quais aspectos do processo de ensino favoreceram o aprendizado de aspectos conceituais de ligação iônica, o aprendizado sobre modelos dos alunos e a visão dos mesmos sobre o próprio aprendizado através da estratégia de modelagem.

No capítulo 5 – Conclusões – são tecidas apreciações gerais sobre os resultados obtidos em relação às questões de pesquisa e ressaltadas as contribuições teóricas e metodológicas desse trabalho.

Finalmente, no capítulo 6 – Implicações para o ensino e a pesquisa – são apresentadas recomendações para o ensino de ligação química nos níveis de ensino médio e superior e para as pesquisas qualitativas relacionadas ao ensino fundamentado em modelagem, além de novas possibilidades de pesquisas na área.

CAPÍTULO 2

DISCUSSÃO DE TEMAS RELEVANTES PARA ESTA PESQUISA A PARTIR DA LITERATURA

1. MODELOS NO COTIDIANO, EM CIÊNCIAS E NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	8
2. O PROCESSO DE MODELAGEM	13
3. O ENSINO DE LIGAÇÃO QUÍMICA.....	18

DISCUSSÃO DE TEMAS RELEVANTES PARA ESTA PESQUISA A PARTIR DA LITERATURA

1. MODELOS NO COTIDIANO, EM CIÊNCIAS E NO ENSINO DE CIÊNCIAS

“Modelos devem ser tão simples quanto possível, mas não mais simples.”

(Albert Einstein)

Na figura 1 é apresentada uma tirinha que explicita a concepção de modelo para Mafalda²: cópia reduzida da realidade.



Figura 1. Concepção de modelo para Mafalda.

Tal concepção de modelo é muito usual no senso comum. De acordo com pesquisas na área de modelos essa concepção é freqüente entre alunos (Grosslight et al., 1991; Ingham & Gilbert, 1991; Saari & Viiri, 2003; Treagust et al., 2002). Provavelmente, isso se deve ao fato de as pessoas, desde a infância, estarem acostumadas a brincar com miniaturas, construir e utilizar maquetes dos sistemas solar e do corpo humano, por exemplo. Nesses casos, os modelos são sempre expressos de forma concreta e o foco deles é retratar os principais aspectos visuais ou estruturais da ‘coisa’ que está sendo modelada.

O fato de a concepção cotidiana de modelo como cópia da realidade ser algo tão corriqueiro no senso comum implica na necessidade de discussão do significado de modelo para a ciência no ensino de ciências, devido à divergência referente à concepção

² Personagem criado por Quino, cartunista argentino.

de modelo nesses dois casos (Chittleborough et al., 2005; Crawford & Cullin, 2004; Justi & Gilbert, 2003a; Taylor et al., 2003).

Uma discussão a respeito da natureza e características de modelo para a ciência não têm sido priorizada no ensino (Justi & van Driel, 2005; van Driel & Verloop, 1999). Quando algo é discutido sobre modelos no contexto escolar, geralmente o foco está no conteúdo dos modelos que são ensinados.

Na maioria dos livros didáticos há ausência de comentários (Monteiro & Justi, 2000) ou presença de concepções inadequadas sobre a natureza, características e funções do modelos para a ciência. Isto é observado tanto em livros brasileiros quanto estrangeiros, como evidenciado nos exemplos:

“Um modelo científico não é nada mais do que uma imagem de um sistema, desenvolvido via experimentos” (Usberco & Salvador, 1995, p. 134).

“A idéia de a matéria ser constituída pelas menores partículas – foi concebida pelos pensadores da Grécia Antiga em 50 a.C. Por séculos essa teoria não teve o mínimo sucesso. As pessoas não estavam preparadas para acreditar em partículas, pois não podiam vê-las” (Ramsden, 1994, p.40).

Nesses exemplos verifica-se a presença de concepções inadequadas sobre modelos (cópia da realidade, apenas modelos construídos com base experimental podem receber o status de modelo), o que pode acarretar em compreensão ingênua do papel de modelos na ciência por parte dos alunos.

Um *modelo* pode ser compreendido, na ciência atual, como uma representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou fenômeno para um dado sistema, que apresenta uma finalidade específica (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). De acordo com Morrison e Morgan (1999):

- A idéia de representação não está associada apenas à exibição de aspectos visuais da entidade modelada, mas a uma representação parcial, que abstrai de ou transfere para outra forma a natureza da entidade modelada, ou ainda, que envolve apenas parte de um sistema ou fenômeno.
- Modelos são agentes ou instrumentos que relacionam a teoria com a suposta realidade, ou seja, eles agem como ‘pontes’ em um processo de relacionamento entre dois domínios.

Essas características são divergentes do significado mais popular de modelos como sendo uma representação concreta enfatizando todos os detalhes da entidade modelada.

O fato de modelos serem representações parciais indica que os mesmos apresentam limitações. De acordo com Maksic (1990, p. xiv apud Coll, 2006, p.66):

“Uma característica importante dos modelos é que eles representam uma descrição aproximada correspondente a sistemas complexos que podem ser chamados de objetos, origem ou protótipo. Na modelagem, sacrifica-se a perfeita descrição devido à simplificação do objeto. Isto é, entretanto, mais um ganho do que uma perda, porque o modelo ganha em transparência e clareza conceitual. Ele deliberadamente negligencia os detalhes e enfatiza os aspectos mais importantes ... um modelo fidedigno exibe a essência das propriedades do fenômeno em estudo, desde que a atenção seja focada na seleção de características dominantes.”

Por serem descrições aproximadas de sistemas e fenômenos é natural que os modelos falhem na explicação de algum aspecto, mas isso não significa que eles devem ser descartados ou considerados totalmente incorretos, pois o foco em algumas partes do sistema está relacionado aos objetivos da construção dos modelos (Morrison & Morgan, 1999; Nersessian, 1999).

O interesse em modelos na ciência e no ensino se relaciona ao fato de eles (i) serem a base do raciocínio científico (Clement, 1989, 2000; Nersessian, 1999); (ii) fundamentarem a proposição e a interpretação de experimentos sobre a realidade (Morrison & Morgan, 1999; Vosniadou, 1994, 2002); (iii) serem essenciais para fundamentar explicações (Erduran & Duschl, 2004); (iv) facilitarem a comunicação do conhecimento científico. Isso tem sido reconhecido por cientistas (por exemplo, por Watson e Crick quando da proposição e discussão da validade do modelo para a estrutura molecular do DNA no final de 1970) e por filósofos da ciência (por exemplo, Nersessian, 1999); (v) atuarem como agentes que simplificam fenômenos complexos ou uma teoria (Morrison & Morgan, 1999); (vi) poderem fundamentar previsões (Borges, 1999; Vosniadou, 2002) e (vii) favorecerem a visualização de entidades abstratas (Barab et al., 2000; Harrison & Treagust, 1998).

Uma forma de organizar nosso conhecimento sobre um objeto, processo ou fenômeno é através da elaboração de modelos mentais. Um *modelo mental* é gerado através de representações e construções pessoais, isto é, de um processo inerente à cognição humana (Nersessian, 1999; Vosniadou, 1994). De acordo com Vosniadou (2002), os modelos mentais são utilizados na construção de explicações, particularmente em situações em que as respostas não são derivadas de uma informação prévia. Na

concepção de Borges (1999), o que distingue um modelo mental de um conhecimento em geral é o fato de o modelo poder ser rodado na imaginação para produzir descrições, explicações, prever comportamentos de eventos e estados futuros.

Modelos mentais não podem ser acessados diretamente, apenas inferidos através dos principais meios da comunicação humana: gestos, fala, e escrita. Quando os modelos mentais são apresentados ao domínio público por meio de uma representação, eles se tornam *modelos expressos* (Gilbert et al., 2000). Modelos mentais são diferentes dos modelos expressos porque não é possível realizar uma total transposição dos pensamentos articulados na mente do indivíduo para alguma outra forma de expressão.

Aqueles modelos expressos que ganham aceitação social através de teste e aprovação por uma comunidade científica tornam-se *modelos científicos*. Como muitas vezes os modelos científicos são complexos (por exemplo, formulações matemáticas muito elaboradas), o que passa a ser utilizado no ensino são simplificações desses modelos, denominados *modelos curriculares*. No contexto escolar, é importante distinguir os modelos curriculares dos *modelos de ensino*. Os últimos são representações criadas com o objetivo de ajudar os alunos a aprender aspectos dos modelos curriculares. Os principais modelos de ensino utilizados são: bidimensionais (2D), tridimensionais (3D), computacionais (simulações) e analogias (Gilbert et al., 2000).

É importante destacar que para que os modelos de ensino atuem como facilitadores na compressão de conceitos eles não devem apresentar incoerências que possam refletir em erros conceituais dos alunos, como relatado em algumas pesquisas (por exemplo, Carvalho & Justi, 2005; Mendonça, Justi, & Ferreira, 2005) que investigaram como a existência de modelos de ensino problemáticos nos livros didáticos conduziu os alunos a expressar idéias inadequadas, do ponto de vista científico, sobre alguns conteúdos químicos.

Para que os modelos possam ser utilizados de maneira adequada no ensino de ciências, é necessário que os professores tenham uma visão menos limitada e mais pragmática sobre modelos (Crawford & Cullin, 2004; Justi & Gilbert, 2002; Justi & van Driel, 2005). Na pesquisa realizada por Justi e Gilbert (2002) foi investigado como 39 professores brasileiros (nível fundamental até o superior de ciências, biologia, química ou física) entendiam alguns aspectos importantes em relação a modelos e modelagem. Os autores perceberam, de uma maneira geral, que os professores apresentavam uma

visão muito limitada sobre natureza dos modelos (modelos são derivados de experimentos empíricos; os cientistas apresentam habilidades diferentes, são mais criativos e desenvolvem melhor capacidade de observação, o que os capacita a propor melhor modelos; não têm clara percepção de que um modelo é construído para atender a objetivos definidos etc.) e não empregavam modelos de maneira satisfatória no ensino (nem sempre enfatizavam as limitações dos modelos, utilizavam modelos híbridos³ etc.).

O conhecimento, por parte dos professores, sobre o status de modelo para a ciência é um aspecto de extrema importância para a adoção dos mesmos no ensino de ciências de forma a favorecer o aprendizado dos alunos. Isto porque o professor poderia utilizar modelos de forma mais ampla, coerente e reflexiva.

Como no ensino a exploração da natureza e potencialidades dos modelos ainda não têm sido realizada de forma eficiente (Coll et al., 2005; Justi & Gilbert, 2002; van Driel & Verloop, 1999) são encontrados relatos na literatura (Chittleborough et al., 2005; Saari & Viiri, 2003; Treagust et al., 2002) de diversas concepções de modelos divergentes das utilizadas na ciência por parte dos alunos (modelos são apenas concretos, copiam a realidade, derivam-se de experimentação apenas empírica, etc.) e a existência de várias concepções alternativas em temas que requerem a exploração dos modelos para uma melhor compreensão dos conceitos (por exemplo, astronomia (Baxter, 1989; Skamp, 1994) e equilíbrio químico (Pedrosa & Dias, 2000; Tyson, Treagust, & Bucat, 1999)).

Por outro lado, algumas pesquisas (Barab et al., 2000; Passmore & Stewart, 2002; Raghavan & Glaser, 1995; Saari & Viiri, 2003; Taylor et al., 2003) demonstram que se os modelos forem utilizados de forma coerente⁴ no ensino é possível se desenvolver conhecimentos mais flexíveis, que podem ser aplicados e transferidos para diferentes situações e problemas e promover um aprendizado mais significativo dos

³ Modelos híbridos são constituídos por partes de alguns modelos distintos como se eles formassem um todo coerente (Justi & Gilbert, 1999)

⁴ Isto é, de forma a levar os alunos a entender modelos como construtos humanos que tentam representar a realidade da melhor maneira possível, mas que são susceptíveis a modificações. No caso dos alunos, é desejável que os mesmos construam, testem e avaliem os modelos construídos no âmbito do processo de ensino, de forma análoga à modelagem ocorrida na ciência, para que possam compreender o papel de modelos na ciência. Para isso, o professor não deve apenas discutir sobre alguns modelos em específico, ou trazer definições formais sobre modelos na ciência para a sala de aula, mas sim atuar como um facilitador da aprendizagem, no sentido de fornecer elementos de forma a engajar os alunos em processos de investigação.

alunos, que vai além da memorização de fatos, equações e procedimentos (Clement, 2000). Para atingir esses fins, devem ser exploradas duas instâncias distintas de aprendizagem relacionadas com modelos: os próprios modelos curriculares (desenvolvimento de conhecimentos declarativos ou conceituais) e a relação entre a natureza do conhecimento científico e o papel de modelos (apreciação sobre o *porquê* e *como* os modelos são construídos, o que envolve desenvolvimento de conhecimentos estratégico e procedimental).

Se no ensino forem discutidos os principais aspectos sobre natureza dos modelos, os principais modelos curriculares (ênfase em abrangências e limitações dos mesmos) e, além disso, se forem oferecidas possibilidades de o aluno construir seu próprio conhecimento através da modelagem, torna-se possível contemplar as instâncias de aprendizagem comentadas no parágrafo anterior.

2. O PROCESSO DE MODELAGEM

“Eu escuto e eu esqueço. Eu vejo e eu me lembro. Eu faço e eu entendo.”
(Confúcius)

Alguns autores (Clement, 2000; W.Gilbert, 1991; Justi & Gilbert, 2002) definem ciência como um processo de construção de modelos com diferentes capacidade de previsão. Essa definição une o processo (elaboração e uso dos modelos como instrumentos fundamentais para o desenvolvimento de raciocínio científico) e os produtos (modelos originados desse processo) como centrais na construção e disseminação do conhecimento científico (Justi, 2006). Essa definição implica na necessidade de inserção de atividades de modelagem (elaboração, reformulação, teste e exploração das potencialidades de modelos) no contexto do ensino, para que os alunos compreendam a centralidade do papel de modelos na prática científica, como também o caráter dinâmico, humano e não linear da ciência, em acordo com as exigências contemporâneas para o ensino de ciências.

De acordo com Ferreira (2006) modelagem pode ser entendida como um processo de selecionar, interpretar e integralizar aspectos relevantes, conceitos e proposições objetivando descrever, explicar e prever fenômenos e sistemas.

Os textos científicos raramente discutem como a construção de modelos se processa. Talvez, isso se deva ao fato não existir um consenso sobre quais são e como se processam as atividades mentais e habilidades intelectuais envolvidas na construção de modelos ou, como na opinião de Morrison e Morgan (1999), o processo requerer habilidades tácitas do indivíduo, que não são ensinadas. Isso acarreta na inexistência de regras a serem seguidas na confecção de modelos, como pode ocorrer, por exemplo, na execução de uma atividade experimental visando a coleta de dados. Apesar de não existir um conjunto de regras para a criação dos modelos, alguns autores citam fatores que podem influenciar nesse processo como, por exemplo, o fator criativo – que tem sido ignorado nos textos científicos (Morrison & Morgan, 1999) – e as habilidades de pesquisa (observação, inferência, proposição de hipóteses, argumentação e comunicação de idéias etc.) (Ferreira, 2007). Outros autores (por exemplo, Coll, 2006; Harrison & Treagust, 2000) defendem que apesar de a modelagem não ser ensinável, pode ser aprendida mediante assistência e experiência, pois requer habilidades intelectuais que são desenvolvidas no próprio processo. Em relação ao processo de modelagem no contexto de ensino, acreditamos na influências dos elementos citados anteriormente e concordamos com os pontos de vista dos autores Harrison e Treagust (2000) e Coll (2006).

Objetivando a prática de construção de modelos no ensino, Justi e Gilbert (2002) desenvolveram uma estrutura esquemática, intitulada *Modelo de Modelagem* (Figura 2), que mostra o relacionamento das etapas mais relevantes na elaboração de modelos. Esse diagrama não é a única possibilidade para se conduzir um processo de modelagem, mas é uma proposta bastante coerente, pois foi desenvolvida a partir do estudo de como cientistas elaboram modelos. Suas etapas não seguem, necessariamente, uma seqüência linear, e, como demonstrando no esquema através das setas duplas, tampouco unidirecional.

De acordo com Justi (2006), segundo a proposta expressa nesse diagrama, todo processo de modelagem é empreendido a partir de um propósito, ou seja, inicialmente é necessário definir os objetivos para os quais o modelo será construído, algo que deve ser bem claro para a pessoa envolvida no processo. Os propósitos podem ser, por exemplo, a descrição de relações de causa e efeito de um fenômenos ou a previsão do comportamento de um sistema.

Posteriormente, essa pessoa deve ter alguma experiência com o fenômeno a ser modelado (através de observações iniciais, diretas ou indiretas, qualitativas ou quantitativas do alvo modelado ou aquisição de informações já disponíveis – tanto em sua própria estrutura cognitiva quanto em fontes externas, por exemplo, dados relevantes encontrados em um artigo ou livro). Paralelamente, ocorre a seleção da fonte, ou seja, de sistemas com as quais parece possível estabelecer uma analogia ou recursos matemáticos adequados para a situação em questão, ou ainda, de um modelo base para a proposição de outro modelo (chamados no diagrama de ‘origem’ do modelo). Da interação entre esses dois elementos – obtenção e organização de experiências relevantes e seleção de uma origem adequada – a criatividade, o raciocínio crítico e diferentes habilidades mobilizadas pelo indivíduo conduzem à elaboração de um modelo mental inicial. É importante destacar que este é um processo cíclico, como representado pelas setas duplas que unem os quatro elementos iniciais do diagrama. Isto significa que elementos diferentes podem exercer influência nos outros. Portanto, devido à interatividade entre os elementos se realizar de forma idiossincrática, não é possível descrever completamente a etapa inicial apresentada no diagrama.

Tendo produzido um modelo mental dessa maneira, a próxima decisão a ser tomada é relativa ao modo de representação no qual ele será expresso. Este também é um processo não linear, uma vez que, ao expressar um modelo, o indivíduo que o produziu pode modificá-lo.

Após o modelo ter sido expresso, o próximo passo é testá-lo. Essa etapa de testes pode acontecer através de experimentos mentais⁵ ou de experimentos empíricos⁶. Nessa etapa podem ocorrer os dois tipos de teste ou apenas um tipo. A escolha dependerá do tema do modelo, dos recursos materiais e dos conhecimentos prévios dos indivíduos⁷.

⁵ Condução de um experimento na mente através da integração de conhecimento intuitivo, pensamento lógico, imaginações construtivas, esquemáticas e testes de hipóteses (Reiner & Gilbert, 2000).

⁶ Atividades práticas, seguidas de coleta e análise de dados e pelo julgamento dos resultados obtidos em relação às previsões iniciais (Justi, 2006).

⁷ Os testes mentais são realizados quando é impossível ou inviável, por falta de recursos materiais, a realização de testes empíricos. Para alguns temas de natureza fortemente abstrata, por exemplo, entender o mecanismo de uma ligação química, os testes mentais são os mais viáveis. Por outro lado, para entender as propriedades de algumas substâncias podem ser feitos testes empíricos. Mesmo assim, os experimentos empíricos estarão associados aos mentais (Reiner & Gilbert, 2000), ou seja, torna-se necessário “rodar na mente” o experimento de forma a possibilitar uma explicação para os comportamentos observados empiricamente, ou, ainda, realizar o experimento mental anteriormente ao experimento empírico visando uma melhor execução prática, por exemplo, minimizar os gastos de materiais (Justi, 2006).

Portanto, apenas a partir da seleção de um sistema e definição de objetivos para construção de modelos é que poderão ser definidos os tipos e quantidades de testes a serem efetuados. Caso as previsões elaboradas a partir do modelo inicial não sejam compatíveis com os resultados obtidos nos testes, torna-se necessário modificar o modelo, voltando ao ciclo, ou rejeitar o modelo, o que conduz a um retorno a etapa inicial do processo. Por outro lado, se o modelo expresso for bem sucedido na fase de testes, ele satisfaz os propósitos estabelecidos inicialmente. Após a obtenção desse modelo bem sucedido, ele deve ser apresentado para outras pessoas que reconhecerão (ou não) sua validade. Essa etapa é muito importante para que sejam levantadas as limitações do modelo, bem como a sua extensão e validade.

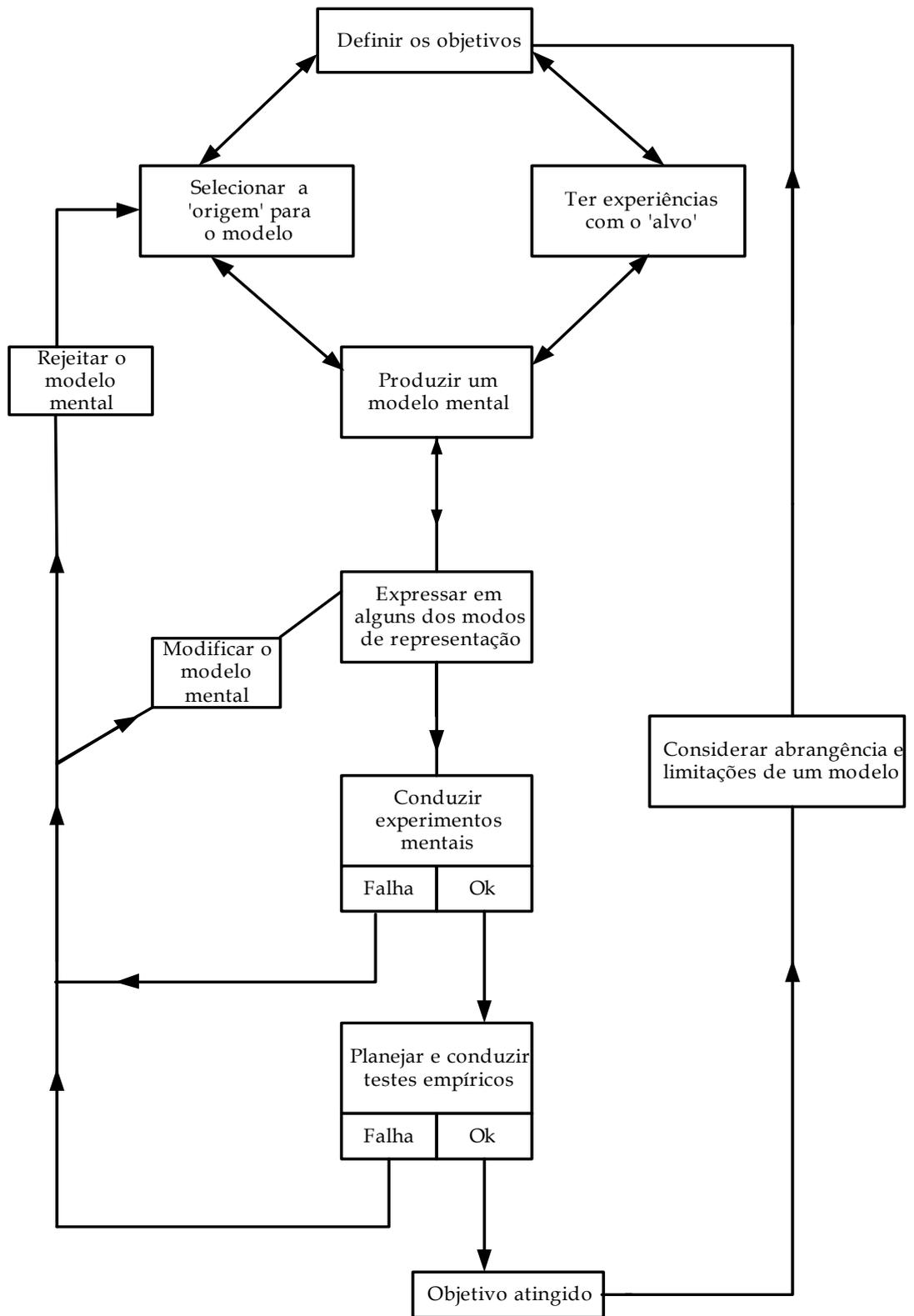


Figura 1. Diagrama Modelo de Modelagem (Justi & Gilbert, 2002, p. 371).

O presente trabalho levou o diagrama Modelo de Modelagem em consideração na elaboração das atividades de modelagem a serem realizadas pelos alunos e na definição das ações da professora durante o processo de ensino. O grande desafio dessa proposta foi a transposição dessa estrutura do processo científico para o processo de ensino, uma vez que requereu grande dedicação e conhecimento das pesquisadoras (a autora desta dissertação e sua orientadora) a fim de propor atividades que levassem os alunos a vivenciar cada etapa do processo e de definir como a professora conduziria o processo de ensino de forma a favorecer a aprendizagem dos alunos.

É importante destacar que não foi intuito dessa proposta de ensino apresentar o diagrama aos alunos. A intenção era a utilização do mesmo como um alicerce para elaboração das atividades que seriam feitas pelos alunos. Como eles estariam imersos em um processo em que vivenciaríamos as etapas presentes no diagrama, poderiam adquirir a noção de como os modelos são construídos na ciência. Além disso, os alunos poderiam aprender sobre o tema do modelo, ou seja, sobre ligação iônica, através desse processo. Dessa forma, em concordância com Harrison e Treagust (2002) e Coll (2006), defende-se nessa proposta que a modelagem é um processo que pode ser aprendido pelos alunos quando eles estiverem imersos em atividades que favoreçam a vivência das várias etapas do mesmo.

3. O ENSINO DE LIGAÇÃO QUÍMICA

Nas concepções de Licata (1988), Boo (1998), Tan e Treagust (1999) e Coll (2006), ligação química é um dos assuntos de maior dificuldade em química, principalmente, devido à elevada exigência de abstração requerida para explicar as propriedades macroscópicas em termos sub-microscópicos. A compreensão desse assunto é algo essencial à química porque o entendimento das ligações químicas e das interações intermoleculares é extremamente importante para que o aluno consiga entender as diferentes propriedades dos materiais e, dessa maneira, atribuir sentido ao estudo desse assunto, como requerido nos documentos oficiais brasileiros para o ensino de química (PCNEM) (Brasil, 1999).

As pesquisas realizadas por Nahum, Mamlok-Naaman, Hofstein e Krajcik (2007) advertem que a forma pela qual o assunto ligação química tem sido abordado no

ensino médio tem sido ineficaz quanto aos propósitos educacionais atuais. Uma possível explicação é o fato de os estudantes terem contato com conceitos e modelos muito simplificados em relação aos científicos, o que inviabiliza o entendimento das propriedades dos materiais.

Especificamente no caso da ligação iônica, numa abordagem tradicional, os professores geralmente a associam à valência⁸ e à regra do octeto⁹. Nessa visão, a configuração eletrônica dos átomos e os oito elétrons no último nível são fatores determinantes na formação da ligação iônica, que é apresentada como consequência de um átomo doar elétrons para o outro átomo: metal doa elétron (pois essa é sua tendência) para o ametal, que têm tendência a receber elétrons (Butts & Smith, 1987). De acordo com essa abordagem, a ligação iônica é restringida à transferência de elétrons (Taber, 1994, 1997; Tan & Treagust, 1999), ou seja, os alunos passam a ter a noção de que ocorre apenas uma ligação nos compostos iônicos: entre o par de átomos para o qual o elétron foi doado e recebido. As outras interações são tidas como 'fracas atrações' devido ao fato de as cargas positivas e negativas terem 'tendência natural a se atrair' (Taber, 1997, 2005). A principal consequência de os alunos terem esse tipo de modelo para ligação iônica é o fato de eles pensarem em pares de íons como moléculas de substância iônica. Nesse caso, há ligação química entre um par de íons NaCl e atrações entre as 'moléculas de NaCl' do tipo dipolo-dipolo¹⁰, como constatado por Taber (1994) ao identificar o desenvolvimento de um modelo híbrido – características da ligação covalente são aplicadas à ligação iônica – após alunos terem estudado ligação química.

Além disso, a partir desse tipo de abordagem, no qual regras e classificações são enfatizadas, tem-se verificado a utilização de conceitos baseados em explicações antropomórficas e animistas ("empréstimo de elétrons", "metais têm necessidade de doar elétrons" etc.) (Taber & Watts, 1996) para explicar o comportamento dos átomos na ligação química. Dessa forma, esses conceitos passam a ser utilizados pelos alunos como dogmas inquestionáveis (Mortimer, Mol, & Paes, 1994), ou seja, para eles existe

⁸ Valência é a capacidade que um átomo tem de se combinar com outros átomos, capacidade esta que é medida pelo número de elétrons que um átomo pode doar, receber, ou compartilhar de forma a constituir uma ligação química.

⁹ Regra do octeto: os átomos ficam estáveis quando adquirem oito elétrons em seu nível mais externo e passam a ter configuração eletrônica semelhante à de um gás nobre.

¹⁰ Interações intermoleculares presentes entre moléculas polares.

uma verdadeira doutrina para explicar a estabilidade dos compostos químicos, substituindo princípios mais gerais como as variações de energia envolvida na formação das ligações entre os átomos.

Mortimer, Mol e Paes (1994) enfatizam que na maioria dos livros didáticos brasileiros não é encontrada uma abordagem relacionada à formação da ligação química com o abaixamento de energia potencial do sistema, o que poderia prover uma explicação para a estabilidade.

Nesse trabalho (Mortimer et al., 1994), esses autores analisaram as respostas de alunos a uma questão da prova de vestibular de 2ª etapa da Universidade Federal de Minas Gerais de 1992, que fornecia dados sobre a formação do cloreto de sódio sólido a partir dos átomos gasosos de cloro e sódio. Nos dois primeiros itens solicitava-se que os alunos realizassem alguns cálculos sobre a energia das etapas e do processo global. No terceiro item, o aluno era solicitado a avaliar a afirmativa: *“o que estabiliza o cloreto de sódio é a formação de octetos de elétrons de valência nos íons cloreto e sódio”*. Analisando as respostas desta questão, esses autores perceberam que apenas 7,6% dos estudantes utilizaram explicações distintas da regra do octeto para explicar a estabilidade do cloreto de sódio, 14,4% dos estudantes reconheceram os resultados dos cálculos da variação de entalpia¹¹ como perturbadores para a afirmação de que a estabilidade do cloreto de sódio era devida ao estabelecimento do octeto, apesar desses estudantes não apresentarem uma explicação plausível. Dos 78% restantes, pelo menos 52% desconheciam totalmente os resultados aos quais haviam chegado, uma vez que acertaram os cálculos dos itens 1 e 2, mas não os reconheceram como perturbadores para a explicação baseada na regra do octeto.

Outro fato a ser destacado sobre a abordagem tradicional desse tema é uma interpretação não satisfatória dos dados obtidos através dos experimentos e das propriedades dos compostos iônicos a partir do modelo para a ligação iônica. Em geral, não é realizada a transposição do nível macroscópico para o sub-microscópico através da exploração das propriedades dos compostos para evidenciar elementos específicos do modelo, e nem do nível sub-microscópico para o macroscópico, situação na qual o modelo poderia ser usado para fundamentar explicações e previsões sobre as

¹¹ Entalpia (H) é a grandeza que descreve a energia interna total de um sistema. Pode ser definida como: $H = U + PV$, em que U é a energia interna do sistema e PV é o produto da pressão pelo volume. Em química, no ensino médio, é muito utilizada para expressar o conteúdo calorífico de uma substância química e a variação de entalpia (ΔH) de um processo físico ou químico.

propriedades dos compostos iônicos. Nesse sentido, não são exploradas as potencialidades do modelo. Isso pode acarretar em esse tema não fazer sentido para o aluno, pois se ele não tem claro o modelo científico para a estrutura de um composto iônico terá dificuldades em explicar as propriedades desses compostos (Coll & Treagust, 2003).

Taber (2005) salienta que simplificações exageradas dos conceitos, como verificado na abordagem tradicional de ligação iônica, podem gerar problemas na aprendizagem futura, isto é, os alunos podem ter dificuldades em relacionar ligação química a outros tópicos de química como, por exemplo, propriedades dos compostos orgânicos e termodinâmica.

Taber (1997) também destaca que muitas das concepções alternativas em química não são derivadas das experiências extra-escolares, mas são advindas do conhecimento adquirido em âmbito escolar.

Levando-se em consideração os principais problemas do ensino de ligação química (por exemplo, Barker & Millar, 2000; Boo, 1998; Coll & Treagust, 2003; Mortimer et al., 1994), as pesquisas que relatam as principais concepções alternativas dos alunos sobre o assunto (por exemplo, Boo, 1998; Taber, 1994, 1997; Tan & Treagust, 1999), a necessidade de se tornar o ensino desse assunto mais próximo da realidade científica (Nahum et al., 2007), bem como o fato de o modelo eletrostático (discussão qualitativa) ser acessível à compreensão dos alunos do ensino médio, torna-se necessário repensar o ensino de ligação química caracterizado como tradicional.

Nesse sentido, optamos pela construção de uma metodologia para o ensino de ligação iônica. Grande parte das pesquisas sobre o tema (por exemplo, Barker & Millar, 2000; Butts & Smith, 1987; Coll & Treagust, 2003; Taber, 1994, 1997) focaliza as dificuldades de ele ser ensinado pelos professores e de ser aprendido pelos alunos e reconhece a necessidade do uso de analogias e modelos no ensino desse tema. Entretanto, nenhuma delas propõe uma metodologia na qual o estudante aprenda ligação química através da modelagem. A possibilidade de estudar esse tema nessa perspectiva pode ser justificado pelo fato de o assunto requerer dos alunos grande capacidade de abstração e visualização, o que pode ser potencializado pelas construções e manipulações de modelos concretos que, por sua vez, podem auxiliar os alunos na explicação das propriedades dos compostos iônicos, devido a simulações mentais do

que ocorre com as substâncias iônicas quando são submetidas a diferentes condições (fornecimento de energia, aplicação de força, aplicação de campo elétrico).

CAPÍTULO 3

DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA

1. QUESTÕES DE PESQUISA	24
2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA E AS METODOLOGIAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS	25
3. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	35
4. DESCRIÇÃO DAS AULAS	37
4.1. Atividade 1: Modelos: o que são, exemplos e limitações.....	39
4.2. Atividade 2: Modelagem	42
4.3. Atividade 3: Quando uma substância é formada?	43
4.4. Atividade 4: Um modelo para formação de íons.....	47
4.5. Atividade 5: Como os íons interagem	48
4.6. Atividade 6: Testando o modelo para o cloreto de sódio	50
4.7. Atividade 7: Atração entre íons em rede	51
4.8. Atividade 8: Proposição de um modelo consensual para o cloreto de sódio...	52
4.9. Atividade 9: Uma reflexão sobre o aprendizado da ligação iônica	54
4.10. Avaliação da Aprendizagem.....	54

DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA

1. QUESTÕES DE PESQUISA

“Um problema bem formulado é um problema quase resolvido.”

(Isaac Newton)

Como comentado anteriormente, esse trabalho tem por objetivo investigar a utilização de atividades de modelagem no processo de ensino e aprendizagem de ligação química, tendo como foco principal o ensino de ligação iônica. Em decorrência de a compreensão desse tema exigir alto nível de abstração, optamos por recorrer à construção e ao uso de modelos como ferramenta de ensino. Isso porque, dentre outros aspectos, eles facilitam o entendimento de como se dá a formação de uma substância iônica no nível sub-microscópico e auxiliam na visualização de entidades abstratas, o que ajuda no entendimento das diferentes estruturas cristalinas e das propriedades físicas de compostos iônicos.

A estratégia de ensino, que será apresentada no item 4 deste capítulo, se baseou na proposição de atividades de modelagem para o conteúdo ligação iônica utilizando o diagrama Modelo de Modelagem como suporte teórico. Nessa estratégia, os alunos tiveram a possibilidade de criar modelos mentais através de seus conhecimentos prévios aliados a novas informações fornecidas no contexto de ensino e de expressá-los no intuito de explicar como os átomos se ligam e formam uma substância iônica. Além disso, eles tiveram oportunidades de testar seus modelos para explicar situações problema e, dessa forma, perceber o poder de explicação e as limitações de seus modelos.

A investigação desenvolvida visou avaliar em que extensão a utilização da estratégia de ensino proposta contribuiu para uma aprendizagem significativa¹² por parte

¹² Processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se de maneira não literal e não arbitrária a um aspecto relevante da estrutura do conhecimento de um indivíduo de forma a ser significativa para o mesmo e não simplesmente ser obtido por memorização (Ausubel, 1982).

dos alunos sobre ligação química e modelos, visto que a utilização de atividades de modelagem não se limitou apenas à aprendizagem de conteúdos específicos.

Finalmente, considerando que essa estratégia de ensino foi nova para os alunos, julgamos importante buscar saber a opinião deles sobre seu próprio processo de aprendizagem. Dessa maneira, essa pesquisa tem como intuito buscar respostas às seguintes questões:

- Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que alunos do ensino médio aprendam os principais aspectos conceituais relativos ao tema ligação iônica?
- Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que alunos do ensino médio aprendam sobre modelos?
- Como os alunos do ensino médio percebem a influência da participação em atividades de modelagem em seu processo de aprendizagem?

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA E AS METODOLOGIAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Posteriormente à apresentação e discussão mais detalhada dos aspectos metodológicos desta pesquisa e visando contribuir para que o leitor desenvolva uma visão geral do trabalho, apresentamos um diagrama representativo da mesma (figura 3). Nele destacamos sua natureza, seus pressupostos e a metodologia de coleta e análise de dados utilizada com o intuito de responder as questões de pesquisa apresentadas anteriormente. A seguir, os elementos apresentados no diagrama são detalhados.

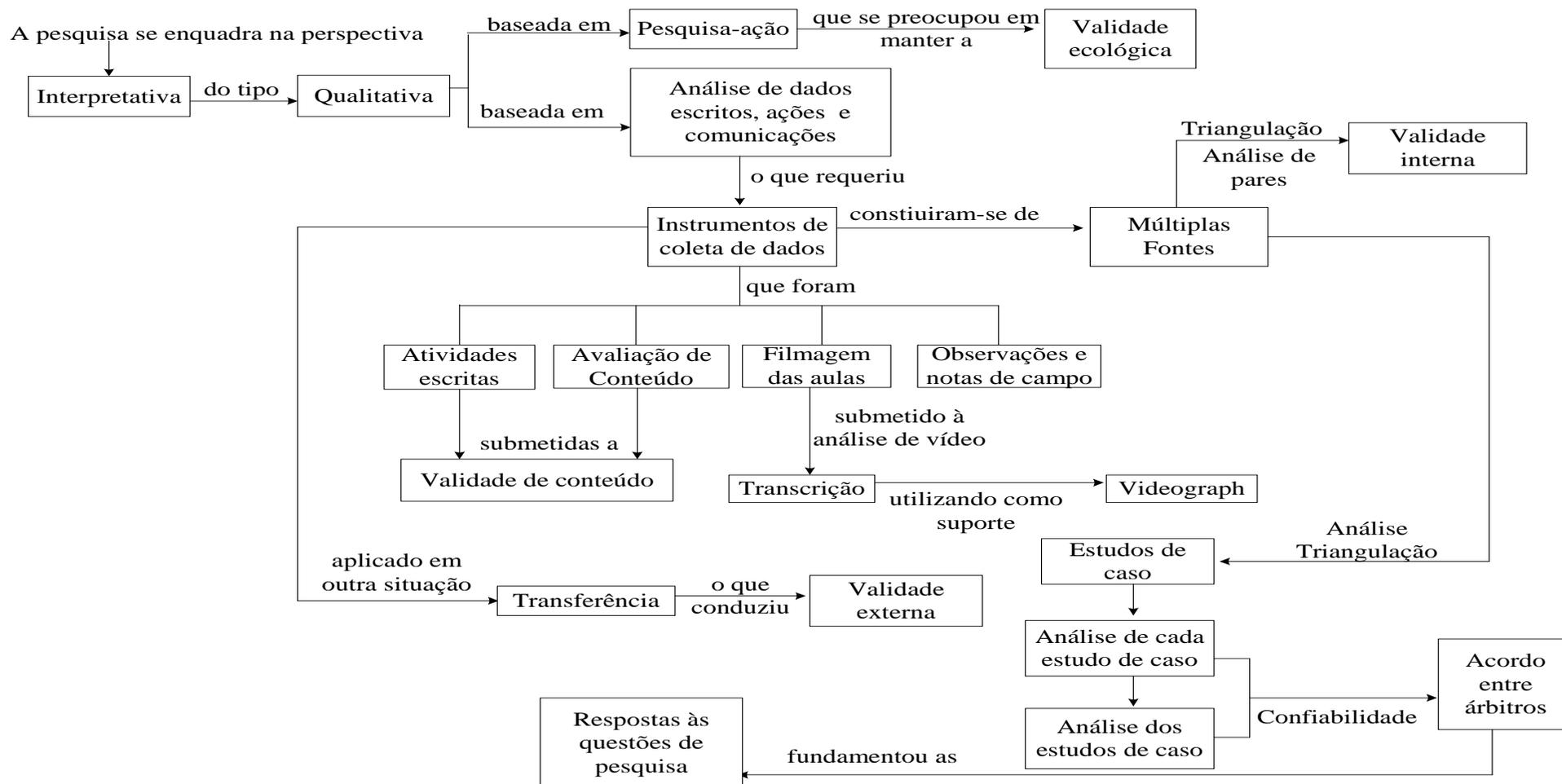


Figura 3. Diagrama representativo da pesquisa.

A presente pesquisa se enquadra na perspectiva interpretativa no que diz respeito à maneira pela qual o conhecimento é construído, isto é, como um construto pessoal, influenciado por experiências passadas, fatores sociais e culturais. Sendo coerente com esse pressuposto, optamos pela utilização de um método de análise qualitativo, que possibilitasse a compreensão de casos particulares e gerais, do não usual e do representativo, de construtos sociais e individuais, a percepção da construção e uso de conhecimentos e, ainda, que oferecesse possibilidade de inferências (Cohen, Manion, & Morrison, 2000).

A pesquisa realizada envolveu a aplicação e avaliação de uma proposta de ensino em um ambiente real de sala de aula, durante o período normal das aulas de química. Assim, ela foi caracterizada como uma pesquisa-ação. As justificativas para esta caracterização estão relacionadas aos fatos de:

- i. esse tipo de pesquisa ser concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo no qual os pesquisadores e participantes da situação estão envolvidos de modo cooperativo e participativo (Thiollent, 1947). Isto ocorreu na pesquisa desenvolvida uma vez que ela ocasionou mudanças no método de ensino empregado e, conseqüentemente, na maneira pela qual ocorria o aprendizado dos alunos durante o processo de ensino. Este, por sua vez, ocorreu com participação ativa dos alunos, ação colaborativa e muita reflexão – por parte deles e da professora.
- ii. a pesquisa realizada satisfazer a dimensão epistemológica apresentada por Franco (2005) para caracterizar uma pesquisa-ação. De acordo com a autora:
 - O pesquisador deve fazer parte do universo pesquisado, o que, de alguma forma, anula a possibilidade de uma postura de neutralidade e de controle das circunstâncias da pesquisa. No caso dessa pesquisa a professora-pesquisadora tomou o cuidado de não manipular variáveis e condições, de forma a não induzir as respostas dos alunos, mas, sempre que necessário interferiu nas discussões de forma a favorecer a construção social do conhecimento.
 - Não há como separar sujeito que conhece do objeto a ser conhecido. O conhecimento não se restringe à mera descrição, mas busca o explicativo; parte do observável e, vai além, por meio do movimento dialético do

pensamento e da ação. Essas concepções são coerentes com os pressupostos dessa pesquisa, na qual a construção de conhecimentos ocorreu em âmbito social, sendo que os conhecimentos não estavam dados a priori, mas dependentes da interpretação do sujeito.

- A interpretação dos dados só pode ser realizada em contexto. Buscamos analisar as questões de pesquisa expostas inicialmente para a turma pesquisada, sem nos preocuparmos com generalizações para universos maiores, como será comentado a seguir, pois acreditamos na influência do contexto sócio-cultural no desenvolvimento de conceitos.
- iii. a pesquisa realizada satisfazer a dimensão metodológica apresentada por Franco (2005) para caracterizar uma pesquisa-ação. De acordo com a autora:
- A metodologia deve rejeitar noções positivistas de racionalidade, objetividade e verdade. Tal aspecto aplica-se à pesquisa ora relatada, como comentado no primeiro parágrafo dessa seção.
 - O processo de construção do conhecimento se dá nas múltiplas articulações com a intersubjetividade em dinâmica construção.
 - A pesquisa-ação deve ser realizada no ambiente natural da realidade a ser pesquisada. Essas duas últimas proposições foram observadas na pesquisa desenvolvida, como será especificado a seguir.

Alguns autores (por exemplo, Pimenta, 2005; Barbier, 2003) argumentam que, em uma pesquisa-ação, os sujeitos que nela se envolvem compõem um grupo com os mesmos objetivos e que o problema de investigação deve ser definido a partir do ponto de vista de pesquisadores e participantes conjuntamente. Reconhecemos que tais características não se aplicam à pesquisa desenvolvida, pois o problema de pesquisa foi definido previamente pelas pesquisadoras, sendo, posteriormente, apresentado aos alunos. Entretanto, de acordo com a literatura (Franco, 2005; Thiollent, 1994) uma pesquisa ação pode ser de três tipos: colaborativa crítica e estratégica. No primeiro caso, a busca de transformação é solicitada pelo grupo de referência à equipe de pesquisadores. A função do pesquisador será a de fazer parte e buscar tornar científico um processo de mudança anteriormente desencadeado pelos sujeitos do grupo. Por outro lado a pesquisa-ação crítica é aquela em que a transformação é percebida como necessária a partir dos trabalhos iniciais do pesquisador com o grupo, decorrente de um processo que valoriza a construção cognitiva da experiência,

sustentada por reflexão crítica coletiva, com vistas à emancipação dos sujeitos e das condições que o coletivo considera opressivas. Finalmente, na pesquisa-ação estratégica, a transformação é previamente planejada, sem a participação dos sujeitos, e apenas o pesquisador acompanhará os efeitos e avaliará os resultados de sua aplicação. Levando-se em consideração as características da pesquisa desenvolvida nesse trabalho, concluímos que a mesma apresenta aspectos centrais de uma pesquisa-ação (agir comunicativo/interativo/dialógico, condução a entendimento/negociações/acordos, pesquisador como facilitador etc.), aproximando-se de uma pesquisa-ação estratégica.

A validade ecológica¹³ da pesquisa pode ter sido assegurada pelos fatos de: a pesquisadora ser a professora da turma pesquisada desde o início do ano letivo, isto é, os alunos já estavam acostumados com ela; as aulas terem ocorrido no mesmo local onde os alunos estavam acostumados e a professora-pesquisadora ter mantido o cuidado em não manipular variáveis, de forma a não persuadir ou mascarar as respostas dos alunos. Porém, temos consciência de que a presença de um operador realizando a filmagem das aulas pode influenciar no cenário natural do ensino, porque os participantes podem apresentar manifestações diferentes das habituais ou se distraírem. Por isso, nos preocupamos em selecionar uma pessoa que estivesse habituada com pesquisas em educação da mesma natureza da pesquisa ora relatada, a fim de minimizar a subjetividade da filmagem na medida em que ela tentou se mover o mínimo possível com a câmara, ocasionando menor distração entre os participantes (Erickson, 2006).

A análise de dados escritos, ações e comunicações teve como objetivo favorecer a análise da experiência subjetiva dos indivíduos e da construção social do conhecimento, o que requereu múltiplas fontes de dados. Utilizamos diversos tipos de instrumentos de coleta de dados intencionalmente, pois tínhamos o intuito de coletar diferentes tipos de dados que possibilitassem avaliar os sujeitos da pesquisa em momentos distintos e entender melhor suas idéias.

Após aprovação do projeto de pesquisa pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, assinatura de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido por parte dos alunos¹⁴ (Apêndice 2) e do Termo de Consentimento da Diretoria da Escola (Apêndice 3) para a realização da pesquisa, iniciou-se a intervenção.

¹³ Medida da extensão em que o cenário pesquisado foi o mais próximo possível do natural (Cohen et al., 2000).

¹⁴ Nesse caso, como todos os alunos eram maiores de idade não foi necessário consentimento dos pais.

O processo de ensino ocorreu em 18 horas/aulas (distribuídas em 12 encontros), incluindo as atividades de modelagem, aulas de fechamento e a avaliação de aprendizagem. Todas as atividades e a avaliação são apresentadas nos apêndices de 4 a 14. Vale a pena destacar que, durante todo o processo de ensino, a professora deu tempo para que os alunos pudessem discutir e expor suas idéias com bastante tranquilidade.

Os dados escritos consistiram nas respostas às atividades elaboradas para o ensino de ligação iônica por modelagem e à avaliação de conteúdo. As atividades e a avaliação foram produzidas pela professora-pesquisadora, com base (i) em seus conhecimentos sobre as concepções alternativas que os alunos comumente desenvolvem sobre o tema; (ii) no conhecimento químico do tema, aliado a conhecimentos sobre modelos e sobre o diagrama Modelo de Modelagem e (iii) no que se espera que os alunos aprendam sobre ligação iônica no ensino médio (definido a partir da análise dos PCNEM e da literatura da área (por exemplo, Barker & Millar, 2000; Butts & Smith, 1987)). Tais atividades foram, posteriormente, analisadas por sua orientadora, o que envolveu troca de idéias e sugestões até se atingir um consenso quanto aos instrumentos serem capazes de (i) disponibilizar alvos importantes para modelagem; (ii) favorecer a discussão de aspectos centrais de ligação iônica; (iii) avaliar coerentemente os principais aspectos sobre o tema, (iv) favorecer a vivência das etapas do diagrama Modelo de Modelagem e (v) questionar os alunos de forma objetiva e clara. Tais preocupações visaram garantir a validade de conteúdo¹⁵ desses instrumentos de coleta de dados.

As ações e comunicações foram registradas em vídeo. Além disso, a professora fez anotações importantes ao final de cada aula (algumas vezes resultantes de discussões com a outra pesquisadora, responsável pela filmagem¹⁶). Através da filmagem das aulas pressupúnhamos obter dados relativos ao processo de elaboração e socialização dos modelos, além de aspectos atitudinais dos alunos em relação às atividades.

¹⁵ Medida da capacidade do instrumento de ser capaz de responder as questões de pesquisa e de conter os conhecimentos relevantes de determinada área do conhecimento (Cohen et al., 2000).

¹⁶ A professora e a pesquisadora discutiam os aspectos do processo considerados como relevantes para cada uma delas e entravam em um consenso. Tal discussão mostrou-se relevante pois, ao realizar a filmagem, a outra pesquisadora poderia ter observado alguns aspectos relevantes do processo de ensino não percebidos pela professora que, naqueles momentos, desempenhava, prioritariamente, seu papel de professora.

De acordo com os princípios de uma pesquisa qualitativa, consideramos que a professora-pesquisadora foi o instrumento primário de coleta e análise de dados, mediando todo processo ao conduzi-lo.

A análise dos dados tendeu a seguir um processo indutivo, também em concordância com os princípios de uma pesquisa qualitativa. Sendo assim, não houve preocupação em buscar evidências que comprovassem hipóteses definidas antes do início dos estudos, apesar de possuímos indicações da literatura sobre concepções alternativas e estilos de raciocínio que os alunos poderiam desenvolver. As abstrações se formaram ou se consolidaram basicamente a partir da inspeção dos dados.

A triangulação foi realizada por meio do emprego de fontes múltiplas de dados e de diferentes analistas, que analisaram os dados a partir de diferentes pontos de vista teóricos. Nessa pesquisa, isso ocorreu através da análise individual da professora-pesquisadora, de sua orientadora e, em alguns casos¹⁷, de colaboradores¹⁸. Em todos os casos, as discordâncias foram discutidas até existir um acordo. Isso foi realizado com o intuito de diminuir as parcialidades da análise, garantido assim a validade interna da pesquisa¹⁹ (Cohen et al., 2000).

Os vídeos foram analisados pela professora-pesquisadora levando-se em consideração as recomendações sobre análise de vídeo propostas por Erickson (2006):

- Rever todo material em tempo real e sem pausa.
- Marcar o tempo de transição dos eventos.
- Gravar o documento em tempo codificado.
- Rever o material e construir uma linha do tempo ressaltando participações significativas.
- Selecionar intervalos de interesse e transcrever as falas, principalmente, evidenciando influências de personagens.
- Fazer descrições verbais e não verbais.
- Observar o tom do diálogo.

¹⁷ Análise das respostas dos alunos às questões da avaliação (categorização) e da coerência dos relatos especificados nos estudo de caso, verificando a necessidade de inserção ou exclusão de exemplos, de forma a tornar os estudos de caso ricos de informações relevantes, porém não enfadonhos.

¹⁸ Participantes de um projeto desenvolvido no Núcleo de Pesquisa em Ensino de Química (alunos da pós-graduação – pessoas que têm experiência em pesquisa – e professores do ensino médio – que têm experiência em ensinar o tema e lidar com as dificuldades dos alunos) coordenado pela Professora Rosária Justi.

¹⁹ A validade interna de uma pesquisa é garantida, principalmente, através de explicações de eventos particulares sustentados pelos dados, análise de pares, checagem da adequação da análise e triangulação.

A análise de vídeo e transcrição foi realizada utilizando-se como alicerce o software Videograph[®] (Rimmele, 2002). Através do uso desse programa, a execução de todos os passos propostos por Erickson (2006) foi facilitada, visto que o mesmo disponibilizou a realização das ações listadas anteriormente de forma simples e dinâmica, pois sua estruturação e ferramentas atendem a esses pré-requisitos, o que facilita o trabalho do analista. De forma geral o software possibilita

- a construção de esquemas das observações;
- a construção de escalas de tempo analíticas (codificadas em eventos distintos estabelecidos pelo analista);
- a transcrição de conteúdos lingüísticos em tempo real de execução do vídeo, disponibilizando teclas de atalho;
- a exportação das transcrições para editores de texto;
- a apresentação gráfica na tela dos dados gerados em três níveis distintos e interligados (escala de tempo, vídeo, codificação e transcrição).

A análise da avaliação realizada pelos alunos ocorreu (pós-teste), inicialmente, a partir da definição de categorias iniciais elaboradas a partir das respostas a cada questão da avaliação. Depois, a análise foi refinada buscando um consenso na definição de categorias mais amplas, isto é, não por questão, mas por idéias centrais relativas ao tema. Posteriormente, as respostas dos alunos foram categorizadas independentemente pela professora-pesquisadora, por sua orientadora e colaboradores, observando a constância das respostas ao questionário como um todo, pois algumas idéias poderiam ter sido expressas em mais de uma questão. Por último, as discordâncias na categorização foram discutidas, atingindo-se um consenso sobre a categorização das idéias de cada aluno.

A avaliação de conteúdo ocorreu algumas semanas após o término do conteúdo ligação iônica. Naquele espaço de tempo, a professora trabalhou com os conteúdos de ligação covalente e interações intermoleculares.

Reconhecemos que teria sido importante aplicar outro instrumento de coleta de dados (na forma de questionário ou entrevista) com maior retardo após o encerramento do conteúdo ligação química (pós-pós-teste) para avaliar quais conhecimentos sobre ligação iônica os alunos apresentavam após um maior período de tempo, o que poderia indicar um aprendizado significativo desse conteúdo. Isso porque, no pós-teste, alguma(s) idéia(s) demonstrada(s) pelos alunos poderia(m) ser fruto de memorização

recente, enquanto que após um maior tempo isso poderia ser minimizado. Porém, não foi possível a aplicação de outro instrumento com maior retardo nessa pesquisa devido ao fato de a mesma ocorrer em um cenário natural de ensino, no qual são estipuladas etapas e datas são fixadas pela escola para cumprimento de certas tarefas.

Foram recolhidas todas as atividades escritas produzidas pelos alunos e fotografados os modelos concretos confeccionados nas atividades. As respostas das atividades, incluindo os modelos expressos pelos alunos, puderam ser melhor compreendidos a partir da análise conjunta de vídeo (sempre que tínhamos elementos para tal, isto é, quando discussões entre os alunos no grupo haviam sido filmadas²⁰).

A integração de todos os dados permitiu a elaboração de estudos de caso para cada grupo de alunos. Um estudo de caso apresenta descrições relevantes e em ordem cronológica para uma série de eventos, com o foco em um único sujeito ou em um grupo de sujeitos, na tentativa de elucidar a percepção do(s) sujeito(s) sobre os eventos. Há grande envolvimento do pesquisador ao redigir um estudo de caso, pois o mesmo esforça-se para integrar, da forma mais clara e fidedigna possível, suas observações aos fatos narrados e interpretá-los, tornando a descrição exploratória e causal. Para tanto, o pesquisador deve ser capaz de explicar fenômenos através do estabelecimento de 'links' causais, além de interpretar e teorizar sobre os mesmos (Merriam, 1988).

A opção por estudos de caso se deveu ao fato de as questões de pesquisa questionarem exatamente "como" o conhecimento dos estudantes (sobre conteúdo químico e modelos) foi construído ou "como" eles perceberam seu aprendizado em atividades de modelagem. Através de um estudo de caso, pode ser possível explicar ligações causais em intervenções que são complexas demais para tratamento através de simples levantamentos de dados. Porém, para se atingir tal finalidade torna-se necessário o uso de múltiplas fontes de dados, o que gera a possibilidade de investigar vários aspectos em relação ao mesmo fenômeno. Isso contribui para que as conclusões se tornem mais convincentes e para minimizar problemas de validade.

As ricas descrições dos estudos de caso possibilitaram o entendimento de algumas ações dos sujeitos e o estabelecimento de 'links', a partir das quais a professora-pesquisadora e sua orientadora realizaram inferências e teorizações, de forma independente. Posteriormente, observou-se se elas interpretaram de modo semelhante

²⁰ Como dispúnhamos somente de uma filmadora, nem todas as discussões de todos os grupos foram registradas.

aos eventos apresentados nos estudos de caso. De acordo com Denzin e Lincoln (1994, apud Cohen et al., 2000) a confiabilidade como replicabilidade em pesquisas qualitativas pode ser avaliada, dentre outras maneiras, através de:

- Estabilidade das observações: se analistas que fizeram observações de um fenômeno em tempos e locais distintos interpretam suas observações de maneira convergente.
- Acordo entre árbitros: se analistas com a mesma estrutura teórica interpretam um fenômeno de forma semelhante.

Para essa pesquisa foi possível ocorrer o acordo entre árbitros, obtido através do consenso das observações da professora e da pesquisadora responsável pela filmagem sobre aspectos relevantes do processo de ensino e na análise dos estudos de caso.

Após o estabelecimento de consenso sobre os aspectos mais relevantes do processo foram redigidas as análises de cada estudo de caso. A análise dos estudos de caso fundamentou a discussão das questões de pesquisa. Por isso, visando a facilitação da leitura, a lógica utilizada para responder cada questão de pesquisa será explicitada de maneira específica na análise dos estudos de caso e conclusões, onde tais questões foram respondidas.

Em uma pesquisa qualitativa a validade externa²¹ pode ser garantida através de generalizações obtidas mediante comparações e transferências (Lincoln e Guba, 1985, apud Cohen et al., 2000). Em pesquisas dessa natureza, as descrições dos resultados devem ser claras e ricas em detalhes, de forma a possibilitar a outros estender os resultados de uma pesquisa a outra situação (comparação). A aplicação de um estudo em outra(s) situação(ões) e a averiguação de resultados similares consiste em generalização através de transferência.

A validade externa da pesquisa foi assegurada a partir da análise das atividades produzidas para o ensino de ligação iônica em outra situação de ensino (alunos do 2º ano do ensino médio²², na faixa etária normal esperada para a série, de uma escola pública federal) aplicadas pela mesma professora. Nas duas situações, resultados semelhantes em termos de aprendizado de conteúdo foram obtidos, não foram desenvolvidas concepções alternativas sobre o tema e verificou-se que os mesmos

²¹ Extensão na qual os resultados podem ser generalizados para populações maiores ou outras situações.

²² Apesar de ser uma turma do 2º ano, era a primeira vez que aqueles alunos estudavam ligação química no ensino médio.

elementos da estratégia de ensino foram essenciais para o aprendizado do tema pelos alunos. A apresentação e análise detalhada da comparação dos resultados da aplicação da estratégia de ensino nessas duas situações distintas encontra-se em Mendonça e Justi (2007).

É importante ressaltar que, em pesquisas de cunho interpretativo, a preocupação com a validade externa é minimizada em relação às pesquisas de cunho positivista. Lincoln e Guba (1985, apud Cohen et al. 2000) salientam que o pesquisador não deve se preocupar exaustivamente com a transferência de resultados, porém ele deve descrever os dados de forma rica para os leitores de forma a levá-los a perceber se a transferência é possível. Bogdan e Biklen (1992, apud Cohen et al., 2000) salientam que, contrariamente às pesquisas quantitativas, que se preocuparam com generalizações em larga escala, as pesquisas qualitativas devem ser preocupar com generalizações em menor escala.

Nesse sentido, inicialmente, não nos preocupamos em focar o trabalho em direção à generalização dos resultados da pesquisa relatada para outras situações. Porém, como tivemos oportunidade de aplicar a estratégia de ensino a outra situação de ensino, tornou-se possível discutir a validade externa da pesquisa através de transferência.

3. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A pesquisa foi desenvolvida em uma turma de 1º ano do Ensino Médio de uma escola pública (estadual) no turno da noite em Belo Horizonte. Inicialmente fez-se um estudo piloto com uma turma da mesma série, na mesma instituição. O estudo piloto foi realizado com o objetivo de melhorar a conduta da professora ao aplicar as atividades e de analisar a adequação da linguagem das atividades escritas àqueles alunos, identificando possíveis falhas e pontos que poderiam ser modificados. A turma piloto tinha características semelhantes à da turma pesquisada. Como eu era a professora das turmas, passei a atuar também como pesquisadora durante o ensino de ligação iônica.

A turma pesquisada tinha 15 alunos, a maioria dos quais não se apresentava na faixa etária normal da série (idades variando de 18 a 50 anos), pois eles haviam cursado

o ensino fundamental há mais tempo e estavam retornando à escola para cursar o ensino médio.

Os conhecimentos prévios necessários para o estudo do assunto (ligação química) e considerados como fazendo parte da estrutura cognitiva dos alunos, por terem sido trabalhados no decorrer do ano letivo, pela professora de química da turma, foram:

- modelo de partículas;
- modelo atômico de Bohr e a distribuição eletrônica em níveis de energia;
- tabela periódica e as propriedades periódicas (energia de ionização, raio atômico);
- elétrons de valência;
- força de atração coulombiana²³.

Tais conhecimentos estão em concordância com os apresentados por Tan, Khang, Lian Sai e Taber (2005) quando elaboraram um mapa conceitual contendo os principais conhecimentos prévios necessários e suas relações para o entendimento de energia de ionização (considerado nessa pesquisa como pré-requisito para o estudo de ligação iônica).

Os alunos foram dispostos em grupos conforme apresentado no quadro 1. Nesse quadro, cada aluno foi identificado por um código do tipo Ax, em que x é um número, aleatório da turma atribuído a ele. Ao se fazer referência ao grupo do aluno, foi usado o símbolo Gy, em que y é o número do grupo do aluno.

Quadro 1. Alunos participantes de cada grupo da turma pesquisada.

Grupo	Alunos
G1	A1, A2, A3, A4
G2	A5, A6, A7, A8
G3	A9, A10, A11, A12
G4	A13, A14, A15

²³ Uma discussão qualitativa de força coulombiana foi realizada com os alunos no ensino de modelo atômico para que eles compreendessem que a magnitude da força de atração entre partículas de carga oposta depende da distância entre as mesmas. Esses alunos não haviam estudado esse assunto em física.

4. DESCRIÇÃO DAS AULAS

As atividades propostas aos alunos se basearam nas etapas apresentadas no diagrama Modelo de Modelagem. O principal objetivo dessas atividades era favorecer a ocorrência de situações em que os alunos vivenciassem cada uma das etapas do diagrama.

As atividades realizadas serão inicialmente descritas de forma resumida (quadro 2). Posteriormente, será apresentada uma descrição detalhada de todas as atividades realizadas pelos alunos durante a aplicação da estratégia de ensino. A descrição será focada nos aspectos químicos e no relacionamento de cada atividade com o diagrama Modelo de Modelagem. Também será feita uma justificativa do por que, ou da importância de cada atividade no processo de ensino-aprendizagem de ligação iônica utilizando a estratégia de modelagem.

Quadro 2. Descrição resumida de cada atividade da estratégia de modelagem.

Atividade	Problema	Objetivo	Relacionamento com o diagrama
1. Modelos: o que são, exemplos e limitações	Classificação (com justificativa) de nove sistemas apresentados aos alunos como modelos ou não.	Discutir vários aspectos importantes sobre modelos na ciência (natureza, objetividade, provisoriedade etc.) e realizar uma distinção entre modelo na ciência e no cotidiano.	“Ter experiências com o ‘alvo’”, no sentido de ampliar, construir e reconstruir a noção de modelos dos alunos.
	Análise de uma tirinha ²⁴ .	Discutir a concepção de modelo como réplica reduzida da realidade, implícita na mesma.	
2. Significado de Modelagem	Modelar um objeto que estava dentro de uma caixa de papel lacrada, através de algumas evidências (som, atração por ímã)	Modelar uma entidade não química visando aprender alguns aspectos sobre como elaborar modelos. Discutir	“Ter experiências com o ‘alvo’”, no sentido de fazer os alunos pensar em etapas necessárias à modelagem na prática.

²⁴ A mesma apresentada no início do capítulo 2 desta dissertação.

	etc.).	sobre modelagem, como sendo uma prática científica.	
3. Quando uma substância é formada?	Queima de uma fita de magnésio (nível macro) e proposição de questões para entendimento da transformação (nível submicro).	Entender como ocorre a ligação química em termos gerais, enfocando o abaixamento de energia e estabilidade.	“Ter experiências com o ‘alvo’”, no sentido de desenvolver ou disponibilizar alguns dos pré-requisitos necessários à construção de modelos sobre ligação iônica.
	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.	
4. 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.	Relacionar a formação de íons com explicações mais amplas (nível submicro) envolvendo energia e forças de atração – ao invés de simplesmente utilizando regras, como a do octeto.	“Definir os objetivos” e “Produzir um modelo mental” através do conhecimento e integração de idéias anteriores.
5. Como os íons interagem?	Propor um modelo (submicro) para o sistema sal de cozinha dissolvido em água (macro).	Promover a modelagem a partir de um sistema conhecido, sem fazer referência aos íons gerados na atividade anterior ²⁵ .	Elaborar modelos mentais e expressá-los em algum modo de representação.
	Propor um modelo para esse sistema (submicro) após a evaporação de água (macro).		

²⁵ Isso porque, experimentalmente, o cloreto de sódio não é sintetizado a partir de íons sódio e cloreto. Assim, optamos por não apresentar uma situação não condizente com a síntese da substância. Mesmo não sendo sintetizado a partir desses íons, julgamos que seria importante para o aluno entender a formação do cloreto de sódio a partir de átomos neutros, como abordado no diagrama termodinâmico de Born (Apêndice 1).

	Justificar o modelo.	Relacionar com forças de atração e repulsão, energia e estabilidade.	
6. 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 submicro. Compreender uma propriedade importante dos sólidos iônicos.	Fase de teste dos modelos (“conduzir experimentos mentais”).
7. 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 um par Na^+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).	Outro teste para os modelos, através de uma nova experiência com o ‘alvo’, que poderia ajudar na modificação, rejeição ou confirmação do modelo para o NaCl.
8. Proposição de um modelo consensual para o cloreto de sódio	Utilizar o modelo reformulado do NaCl para explicar sua temperatura de fusão.	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, em termos submicro, a temperatura de fusão. Perceber quais aspectos o modelo consensual dos alunos era capaz de explicar e quais não era.	“Conduzir experimentos mentais”. “Considerar abrangências e limitações de um modelo”.

4.1. Atividade 1: Modelos: o que são, exemplos e limitações

Essa atividade foi realizada pelos alunos individualmente. Fizemos essa opção por julgarmos importante identificar as principais idéias e concepções sobre modelos que cada um dos alunos possuía. Realizando a atividade individualmente, eles não seriam influenciados pelos colegas. Posteriormente, houve uma discussão com a turma, durante a qual os alunos puderam expor suas idéias. Isso ocorreu durante uma hora/aula.

Para responder às questões dessa atividade, esperávamos que os alunos recorressem ao cotidiano e aos conhecimentos prévios daquele mesmo ano escolar, quando alguns aspectos sobre modelos já haviam sido comentados durante o estudo dos tópicos modelo de partículas e modelos atômicos. Tais aspectos foram:

- Modelo como sendo uma representação que construímos da realidade para nos ajudar a entendê-la.
- Modelos não são cópias da realidade.
- Modelos são úteis para realizarmos previsões.

Esses aspectos sobre modelos foram informados aos alunos pela professora durante o processo anterior de ensino. Os alunos não haviam realizado nenhuma atividade específica para classificação de sistemas como sendo modelos.

Durante o estudo dos tópicos modelo de partículas e modelos atômicos, a professora conduzia suas aulas dando oportunidade para os alunos questionarem e tirarem suas dúvidas. Mas era a professora que lhes apresentava os modelos, de ensino e/ou curriculares, sobre os dois temas.

A atividade 1 consta de duas partes (ver Apêndice 4). Na primeira delas, encontra-se uma tabela com espaços em branco para que os alunos pudessem preencher de acordo com os sistemas que a professora lhes apresentasse. Foi solicitado aos alunos que classificassem cada sistema como sendo modelo ou não, e que justificassem a escolha (Justi & Gilbert, 2003b). Para isso, a professora lhes apresentou nove sistemas, na seguinte ordem: um carrinho de brinquedo, modelo da molécula de água representada por bolas e varetas, fórmula química da água, dissolução de permanganato de potássio em água, desenho de aspectos macroscópicos desse fenômeno, desenho de aspectos sub-microscópicos desse mesmo fenômeno, gráfico de velocidade em função do tempo, fórmula que descreve a velocidade de um movimento retilíneo uniforme e um mapa.

A escolha desses nove sistemas se baseou no estudo da literatura (por exemplo, Chittleborough et al., 2005; Grosslight et al., 1991; Saari & Viiri, 2003) que descrevem

as principais concepções espontâneas que os alunos apresentam sobre modelos. Assim, pensamos em sistemas que pudessem facilitar a discussão de aspectos importantes sobre modelos, contribuindo para modificar as concepções prévias dos alunos sobre o assunto. Julgamos ser muito importante para aqueles que estivessem imersos num processo de modelagem discutir sobre o que são modelos, suas utilidades e suas limitações de forma mais ampla, pois tal discussão poderia ampliar o conhecimento deles sobre modelos na ciência. De acordo com Justi e Gilbert (2003a), o estudante não altera sua visão sobre a natureza dos modelos como resultado da transmissão direta de definições formais ou do conhecimento de um modelo em particular. O que buscamos, então, foi uma atividade que atendesse a esses fins, que possibilitasse a emergência das principais idéias dos alunos sobre modelos e que favorecesse a discussão das mesmas, de forma que se chegasse a um consenso da turma.

Na discussão, os principais aspectos enfatizados sobre modelos foram:

- Modelos são representações parciais (simplificações) de um objeto, fenômeno ou idéia.
- Modelos apresentam limitações.
- Modelos permitem a visualização de entidades abstratas.
- Modelos facilitam a compreensão.
- Modelos favorecem a elaboração de explicações.
- Modelos favorecem a elaboração de previsões.

Na segunda parte dessa atividade, os alunos foram solicitados a analisar a tirinha da atividade e escrever sobre a concepção de modelo presente nela (ver Apêndice 4). Na tirinha, é expressa uma concepção errônea de modelo como sendo uma réplica em miniatura da realidade, concepção apresentada frequentemente por novatos no assunto, como destacado pela literatura (por exemplo, Harrison & Treagust, 2000; Ingham & Gilbert, 1991). Posteriormente, eles foram solicitados a escrever suas próprias concepções a respeito de modelos.

A discussão da atividade começou pela segunda parte da mesma. Isso se deveu a dois motivos: (i) ser interessante perceber se os alunos apresentavam idéias semelhantes às expressas na tirinha, para que se fosse possível usar os exemplos da questão 1 com o intuito de fazê-los perceber que a idéia de modelo para a ciência como réplica reduzida não é coerente; (ii) conhecer o conceito que possuíam sobre modelo, para que fosse possível perceber se a classificação dada para cada sistema na questão 1 era coerente

com o mesmo. Posteriormente, as idéias dos alunos sobre os nove sistemas da primeira parte da atividade foram discutidas na tentativa de se contemplar os aspectos mais relevantes sobre modelos (os especificados anteriormente). Como alguns alunos podiam não ter claro que modelos são representações parciais, isto é, possuem limitações, as discussões foram importantes porque os alunos expuseram suas idéias e elas foram usadas pela professora para promover um fechamento da discussão, pontuando as principais características de modelos. Muitos deles também poderiam não compreender a existência de múltiplos modelos para um mesmo fenômeno, algo que a professora poderia contemplar na discussão através dos sistemas diferentes que representavam o mesmo fenômeno na questão 1. Caso os alunos não demonstrassem a idéia de que os modelos eram úteis para fazer previsões, a professora poderia ressaltar tal aspecto com os exemplos de gráfico, fórmula e mapa da questão 1.

Apesar de nessa aula terem sido destacadas as principais características sobre modelos, a discussão não se esgotou e foi novamente retomada no decorrer das outras atividades, quando isso se mostrou necessário.

4.2. Atividade 2: Modelagem

Pesquisas (por exemplo, Clement, 2000; Erduran & Duschl, 2004; Harrison & Treagust, 1998) evidenciam a necessidade de alunos serem imersos em atividades de modelagem no ensino, ou mesmo de desenvolverem uma noção sobre como modelos são construídos. Considerando tais aspectos discutidos na literatura, julgamos importante elaborar uma atividade inicial que tivesse como intuito levar os alunos a uma reflexão sobre como seria o processo de construção de um modelo. Além disso, antes de os alunos serem imersos no processo de modelagem para ligação iônica, consideramos importante conhecer suas idéias prévias sobre modelagem. Também tentamos explorar, nessa atividade, as concepções dos alunos sobre o papel dos cientistas na ciência.

Nessa aula, foi realizada uma atividade conhecida como 'caixa preta' (ver Apêndice 5). Nela, cada grupo de alunos recebeu uma caixa de papel lacrada e, sem a abrir, apenas através da consideração de algumas evidências, os alunos deveriam propor um modelo para um objeto que estava dentro da caixa. Os objetos colocados dentro das caixas eram simples (por exemplo, disquete e bolinha de isopor), de forma que eles podiam, por exemplo, girar a caixa e ouvir o som produzido no seu interior. Alguns

grupos usaram ímãs para verificar a existência de qualquer objeto metálico e magnético. Finalmente, eles foram solicitados a tentar modelar aquele objeto. Depois da atividade, e até mesmo depois da conclusão dessa série de aulas, a professora não informou aos alunos sobre o verdadeiro conteúdo da caixa (apesar da insistência deles para que isso fosse feito). Era importante não divulgar o conteúdo da caixa para que os alunos pudessem perceber que os cientistas tentam explicar e conhecer a realidade, mas que, mesmo assim, não têm certeza absoluta sobre a entidade que investigam.

Esta foi a primeira atividade realizada em grupo. Após sua realização, deu-se início à discussão, na qual os grupos apresentaram seus modelos e discutiram com a professora se eles eram satisfatórios para explicar o comportamento do objeto. O critério utilizado foi a coerência dos modelos com as observações realizadas e com o conhecimento prévio deles.

Posteriormente, a professora questionou os estudantes sobre como eles achavam que os modelos eram construídos na ciência. Através dessa discussão, ela pontuou aspectos importantes a respeito da construção do conhecimento científico, tentando desmistificar, por exemplo, a visão que comumente se tem de a ciência ser linear, de o conhecimento sempre ser derivado de experimentos empíricos e de os cientistas serem gênios que 'descobrem coisas' (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwarz, 2002). Através disso e, principalmente, da leitura de uma citação presente na atividade 2 (ver Apêndice 5), alguns alunos perceberam o motivo de não abrirem a caixa e reconheceram que não tinham mais interesse em fazê-lo. Isso porque eles já tinham investigado as propriedades do objeto através das condições de que dispunham, portanto tinham muitos indícios do que poderia estar na caixa, "*assim como acontece na ciência em que o cientista investiga, conclui algo, mas não pode abrir a caixa*" (Grupo 3).

As aulas 1 e 2 foram realizadas com o intuito de os alunos apresentarem (retomando ou construindo) uma noção adequada sobre modelos e modelagem (caráter provisório, representação parcial, presença limitações), algo que eles utilizariam durante o decorrer do processo de ensino de ligação iônica. Portanto, essas duas aulas iniciais estiveram relacionadas com a parte do diagrama referente a *ter experiências com o 'alvo'*.

4.3. Atividade 3: Quando uma substância é formada?

Anteriormente à realização dessa atividade, a professora apresentou algumas questões para a turma com o intuito de checar as idéias prévias ou concepções alternativas dos alunos sobre assuntos que envolviam as propriedades dos materiais, de acordo com o tipo de ligação química (interação interatômica ou intermolecular), uma vez que eles não haviam estudado esse conteúdo. As questões foram as seguintes:

- Por que respiramos O_2 e não O? Existe átomo de O isolado na natureza?
- Na temperatura de $25^\circ C$, o oxigênio é gasoso, o alumínio é sólido e a água é líquida. Por que será que numa mesma temperatura as substâncias existem em estados físicos diferentes?
- Diamante e grafite são constituídos pelo mesmo elemento químico, carbono. Mas, por que será que um é duro e mais resistente ao choque do que o outro?
- O que acontece com uma panela de ferro contendo água se o sistema é aquecido no fogão caseiro por algumas horas, um dia ou uma semana?

A nossa intenção era a de ouvir as idéias iniciais que os alunos apresentavam sobre esses aspectos, mas sem o intuito de chegar a um consenso. As perguntas também tinham a intenção de aguçar a curiosidade dos alunos em buscar conhecimentos que os levassem explicar questões que permeavam o seu cotidiano.

O nosso principal objetivo ao elaborar a Atividade 3 era disponibilizar aos alunos alguns conhecimentos químicos prévios necessários para compreender que o estabelecimento de ligação química ocorre com abaixamento de energia. A fim de que eles pudessem realizar outras atividades da estratégia, seria importante que percebessem que uma situação de menor energia significa uma situação mais favorável em relação a uma situação inicial mais energética²⁶.

Acreditávamos que as idéias discutidas nessa atividade, somadas aos conhecimentos anteriores adquiridos ao longo do 1º ano (tais como, modelo atômico de Bohr, energia de ionização, entre outros), poderiam contribuir para que os alunos desenvolvessem ou resgatassem alguns dos pré-requisitos necessários para construção de modelos sobre ligação iônica. Portanto, essa atividade, assim como as outras duas já

²⁶ Na aplicação dessa atividade a professora tomou cuidado para que os alunos não pudessem desenvolver a concepção alternativa – reação endotérmica não ocorre, porque não há liberação de energia no processo. Para tal, o intuito era frisar que no estabelecimento de ligação química energia é liberada, enquanto que na quebra de ligação química energia é consumida. Um dos motivos que leva a ocorrência de reação química é a formação de produtos menos energéticos, portanto mais estáveis em certas condições.

descritas anteriormente, se relaciona à etapa de *ter experiências com o 'alvo'* no diagrama Modelo de Modelagem.

É relevante destacar que esses alunos não haviam estudado reações químicas ainda e que, portanto, esse seria o primeiro momento, no 1º ano, no qual teriam que pensar em explicações para uma transformação química. Anteriormente, eles estavam acostumados a pensar em transformações físicas, principalmente quando utilizavam o modelo de partículas para explicar mudanças de estado físico, compressão ou dilatação de sistemas gasosos.

Essa atividade²⁷ consta de duas partes (ver Apêndice 6) e foi realizada pelos alunos trabalhando em grupos. Acreditávamos que a troca de idéias entre os componentes do grupo favoreceria o desenvolvimento de explicações para uma atividade que requeria dos alunos articulação com conceitos prévios e capacidade de abstração. Nesta atividade, as questões favorecem o estabelecimento de relações entre as idéias de energia e estabilidade. A realização da atividade pelos alunos, sua discussão e fechamento aconteceram num período de 4 horas/aula.

A parte A dessa atividade envolveu, primeiramente, a realização de um experimento: a queima de uma fita de magnésio. Em tal experimento, o magnésio (metal apresentado na forma de uma fita de cor cinza) combina-se com o oxigênio presente no ar atmosférico quando uma determinada quantidade de energia é fornecida ao sistema, através do aquecimento, transformando-se em uma nova substância: óxido de magnésio (pó branco). Durante essa queima, ocorre liberação de uma luz muito intensa. O produto, óxido de magnésio, também foi aquecido na chama e não se verificou liberação de luz ou modificação do óxido que pudesse ser interpretada como indicativa da formação de uma nova substância²⁸.

Com base nas evidências experimentais e nos conhecimentos anteriores, os alunos deveriam explicar algumas questões que tinham como intuito principal levá-los a perceber que (i) o óxido de magnésio não mais sofria alteração naquelas condições por ser mais estável do que o sistema inicial magnésio e oxigênio, e (ii) um sistema mais estável não é aquele que não se altera visualmente, mas aquele que apresenta menor

²⁷ Extraída de: Romanelli, L.I. & Justi, R.S. (1998). *Aprendendo Química*. Ijuí: Ed Unijuí.

²⁸ Essa mesma transformação pode ocorrer também em flashes descartáveis de máquinas fotográficas antigas. Essa transformação não ocorre espontaneamente na ausência de uma energia externa fornecida ao sistema, denominada energia de ativação.

conteúdo energético comparativamente ao sistema inicial naquelas condições. Isso poderia ser apreendido pelos alunos levando-se em consideração a evidência experimental (liberação intensa de luz). Além disso, os alunos deveriam compreender que o processo ocorre com maior liberação de energia do que consumo, mesmo havendo a necessidade de um tipo de fonte de energia externa para o início da reação. Em relação à grande quantidade de energia liberada, destaca-se uma questão importante: De onde vem esta energia?

Ao ser colocado na chama, o magnésio recebe energia. Sendo assim, os alunos poderiam pensar, inicialmente, que a energia liberada é a recebida anteriormente. Entretanto, a energia associada à luz emitida quando o magnésio se transforma é muito mais intensa do que aquela associada à luz da chama. Desta forma, pelo menos uma parte da energia emitida pelo sistema estava relacionada ao magnésio, ao gás oxigênio que com ele reagiu ou, ainda, a ambos.

Acreditávamos que a discussão de um assunto complexo para os alunos, por relacionar-se a conceitos abstratos como energia, quebra de ligações e formação de novas ligações, poderia ser, num primeiro momento, favorecida por um experimento empírico. Através desse primeiro contato com o assunto, poderiam surgir idéias importantes para ajudar os alunos a pensar na formação das substâncias iônicas (foco das futuras discussões) – idéias essas que poderiam ser retomadas posteriormente quando necessário.

A parte B dessa atividade se relaciona ao fato de que para uma substância existir é necessário que as condições sejam favoráveis para a sua formação e manutenção. Ao pedir aos alunos para pensar nas formas em que o ouro e o ferro são encontrados na natureza, pretendíamos que eles percebessem que para que uma substância exista em determinadas condições é necessário que ela seja mais estável do que as outras substâncias que a originaram ou que ela poderia originar. Além disso, ao solicitar-lhes que respondessem de que maneira esses materiais seriam encontrados na lua, esperávamos que eles pensassem em temperatura, pressão, outros elementos químicos existentes, e assim pudessem concluir que vários fatores influenciam na maneira como uma substância é encontrada naturalmente. O ouro, por exemplo, ocorre quase que exclusivamente na sua forma metálica. O ferro ocorre na forma de minérios, por

exemplo, hematita, magnetita, pirita etc²⁹. Estes dois elementos aparecerem nestas formas pois, nas condições de temperatura e pressão existentes em nosso planeta, elas são as mais estáveis.

4.4. Atividade 4: Um modelo para formação de íons

De acordo com o diagrama Modelo de Modelagem, para que um modelo seja construído, é necessário esclarecer quais são os objetivos para os quais isto ocorre. No processo de ensino, quem explicitou quais seriam esses objetivos foi a professora. A partir dessa aula, os alunos começaram a propor modelos para a ligação iônica visando explicar uma situação problema que foi definida pela professora.

O problema apresentado aos alunos era explicar a formação do cloreto de sódio (componente do sal de cozinha) a partir de átomos de sódio e cloro inicialmente neutros (ver Apêndice 7). Portanto, o primeiro modelo que eles deveriam propor era para explicar como ocorre a formação de íons, em específico, os íons sódio e cloreto.

Para isso, a professora forneceu elementos para que os alunos tivessem maior experiência com o 'alvo' na elaboração do modelo solicitado. Isso foi feito quando ela relembrou um importante conceito discutido naquele ano (energia de ionização), forneceu aos alunos uma tabela com dados de 1ª energia de ionização para os vinte elementos químicos de menor número atômico e solicitou que eles tentassem estabelecer alguma relação entre eles. A intenção era que os estudantes relacionassem a formação de íons com questões mais amplas envolvendo energia e forças de atração – ao invés de simplesmente utilizarem regras, como a do octeto, explicação muito comum entre os alunos que estudam esse tema de maneira tradicional (Taber, 1994, 1997). A opção por utilizar a propriedade energia de ionização se deveu ao possível favorecimento do pensamento dos alunos em relação a como acontece a formação de íons, pois no diagrama de Born-Haber (ver Apêndice 1), essa propriedade é utilizada para justificar a formação de cátions a partir dos átomos neutros. Também pensamos que o conhecimento anterior de força de atração coulombiana poderia auxiliá-los a pensar nas atrações núcleo-elétrons e na formação de cátions e ânions.

²⁹ O ferro pode ser encontrado incrustado nos meteoritos que chegam à Terra vindos do espaço na forma metálica, o que não ocorre naturalmente em nosso planeta, visto que as condições do espaço são diferentes da atmosfera terrestre.

Nessa atividade, os alunos utilizariam seus conhecimentos anteriores, ou aqueles fornecidos pela professora (experiência com o 'alvo') para propor, inicialmente, um modelo mental e, depois, um modelo expresso que atendesse aos objetivos determinados pela professora.

Analisando a tabela de valores de 1^a energia de ionização, os alunos deveriam perceber que os metais apresentam menor valor dessa propriedade em comparação com os ametais e que os gases nobres são aqueles que apresentam os maiores valores de todos os elementos da tabela. A partir daí, esperávamos que eles inferissem que quanto menor for o valor de energia de ionização, mais fácil é para o átomo perder elétrons, pois menor é a atração coulombiana (descrita pelo modelo de Bohr) que o núcleo daquele átomo exerce sobre seu elétron mais externo. Isto fundamentaria a conclusão de que os metais formam cátions e os ametais, ânions.

Outro aspecto importante que os alunos poderiam perceber é que energia de ionização é uma energia fornecida ao átomo por uma fonte externa. Assim, quando um átomo perde elétrons, ou seja, forma um íon positivo, isto ocorre mediante recebimento de energia. Por outro lado, quando um átomo recebe elétrons, ou seja, forma um íon negativo, libera-se energia no sistema, propriedade conhecida como afinidade eletrônica. Mais informações sobre as questões energéticas envolvidas no processo de formação do cloreto de sódio são apresentadas no Apêndice 1.

Essa atividade, bem com sua discussão e fechamento, foi realizada em 2 horas/aula. Os alunos trabalharam em grupos com os mesmos componentes porque acreditávamos que o incentivo entre os pares poderia favorecer a criatividade, a análise crítica e o florescimento de idéias, bem como uma discussão rica e importante para a proposição dos modelos e seus testes, atividades novas e desafiadoras para esses alunos. Além disso, para que o processo tivesse uma seqüência, era importante que os grupos fossem fixos ao longo do ensino do conteúdo ligações iônicas.

4.5. Atividade 5: Como os íons interagem

Nessa atividade, os alunos deveriam propor um modelo que explicasse como os íons interagiam levando à formação do cloreto de sódio. Ela constava de cinco questões (ver

Apêndice 8). Inicialmente, solicitamos aos alunos que criassem um modelo para o sistema sal de cozinha dissolvido em água e que eles o expressassem através de um desenho. Nosso objetivo era que eles representassem como ficariam as partículas (Na^+ e Cl^-) submicroscopicamente. Depois, solicitamos a eles que representassem como esse sistema ficaria após a evaporação de toda a água. A opção por este sistema foi feita por seus íons constituintes serem simples e familiares aos alunos e por considerarmos que seria mais fácil para eles construírem um modelo para o cloreto de sódio para representar fenômenos cotidianos.

Para que os alunos criassem o modelo para o NaCl sólido após a evaporação da água, disponibilizamos alguns materiais como: lápis de cor, massinha de modelar, bolinhas de isopor de diferentes tamanhos e palitos. Essa parte da atividade se relaciona com o diagrama Modelo de Modelagem no que se refere a *expressar o modelo mental* em algum modo de representação, ou seja, realizar a transposição do modelo mental para um modelo expresso. Mais uma vez, eles poderiam recorrer aos seus conhecimentos anteriores (força de atração coulombiana). Nessa etapa, era esperado que os alunos construíssem modelos do tipo um único íon positivo atraindo um único íon negativo ('molécula de NaCl '), previsto de acordo com a literatura (Butts & Smith, 1987; Coll & Treagust, 2003), como comentado anteriormente.

Além de construírem os modelos, os alunos deveriam explicá-los (o que esperávamos que eles fizessem em termos das idéias de interação, energia e estabilidade) e justificar o material escolhido para a confecção dos mesmos.

Essa atividade, bem como sua discussão, foi realizada durante o período de 2 horas/aula. A professora auxiliou os alunos introduzindo questões que pudessem estimulá-los a pensar num modelo. Os grupos apresentaram e explicaram seus modelos para toda a turma. Julgávamos ser de extrema importância que cada grupo pudesse expor seu modelo para toda classe porque, dessa forma, a professora e os alunos de outros grupos poderiam discutir com o grupo sobre o significado atribuído a cada representação utilizada no modelo observando a coerência das representações. Esse poderia ser um momento rico, no qual cada grupo teria possibilidades de contribuir de maneiras distintas na discussão do assunto. Também achávamos que a disponibilização de vários materiais e recursos para a expressão do modelo resultaria na proposição de modelos distintos, o que poderia ajudar o aluno a entender que não existe uma única

forma de representação correta ou estabelecida por uma convenção³⁰. A professora não julgou os modelos como corretos ou incorretos, mas identificou as características coerentes e incoerentes de cada modelo, muitas vezes com o auxílio dos próprios alunos.

4.6. Atividade 6: Testando o modelo para o cloreto de sódio

Essa atividade foi elaborada visando atender dois objetivos principais. O primeiro deles, um objeto geral, se relacionava com o diagrama Modelo de Modelagem, que aponta a fase de teste dos modelos (neste caso, na forma de um experimento mental) como uma etapa essencial do processo. Mesmo sem apresentar o diagrama aos alunos, tínhamos como intuito que eles percebessem, através das ações realizadas ao longo do processo, quais eram as etapas mais importantes da elaboração de um modelo. Por esse motivo, a professora deixou claro para os alunos a necessidade de testar os modelos que eles haviam elaborado para o cloreto de sódio sólido, tentando explicar uma propriedade da substância. Caso o modelo não fosse satisfatório, ele deveria ser reformulado.

O segundo objetivo, específico ao conteúdo, era testar o modelo para o cloreto de sódio sólido utilizando uma propriedade física importante das substâncias iônicas – elevada temperatura de fusão –, pois os conhecimentos daí decorrentes poderiam ajudar os alunos a entender a importância de se estudar ligações químicas para entender o comportamento dos materiais. Essa propriedade está relacionada à alta energia requerida para deslocar os íons de suas posições (praticamente fixas no retículo cristalino). Além disso, o fato de os compostos iônicos serem formados por fortes atrações eletrostáticas (no caso do cloreto de sódio, cada cátion e cada ânion interage com outros seis à sua volta), justifica a elevada temperatura de fusão, pois é necessário fornecer muita energia para que essas várias e intensas atrações sejam rompidas e a substância sólida seja fundida. Como esperávamos que os alunos construíssem modelos do tipo 'molécula de NaCl', estávamos considerando que o modelo deles não conseguiria explicar a temperatura de fusão de 808°C para o cloreto de sódio. Mais detalhes sobre a explicação para a elevada temperatura de fusão dos compostos iônicos são apresentados no Apêndice 1.

³⁰ A menos que exista uma justificativa coerente para que se tenha utilize uma convenção na representação.

Essa atividade, incluindo sua discussão, foi realizada durante o período de 2 horas/aula.

4.7. Atividade 7: Atração entre íons em rede

Essa atividade foi elaborada visando uma reformulação dos modelos do tipo 'NaCl molécula' que pudessem ter surgido na Atividade 5 e, ainda, a confirmação da validade de modelos não moleculares (várias atrações, possibilidade de rede), caso esses tivessem sido criados por algum aluno nas Atividades 5 ou 6. Portanto, na Atividade 7 haveria um novo teste para o modelo proposto anteriormente. A necessidade de um novo teste visando favorecer a transição de modelos 'NaCl molécula' para 'NaCl em rede' foi previsto na elaboração de estratégia de ensino levando em consideração os pressupostos teóricos do diagrama modelo de modelagem, no qual mais de um teste pode ser necessário para verificar a adequação de um modelo e a dificuldade do tema ligação química devido ao elevado grau de abstração necessário para o entendimento do mesmo.

Nesse caso, para que os alunos tivessem uma nova experiência com o 'alvo' disponibilizamos dados empíricos sobre energia em relação ao processo de formação do cloreto de sódio (ver Apêndice 10). Através da análise desses dados, os alunos poderiam pensar que, com o aumento do número de pares de atração entre Na^+Cl^- , mais energia é liberada pelo sistema. Como o aumento de íons acarreta aumento das forças de atração, e também de repulsão, a quantidade de energia liberada não é proporcional ao número de pares (a união em pares libera 104,5kcal/mol, enquanto a união em rede libera 206kcal/mol). Mais detalhes sobre a questão energética envolvida na formação do cloreto de sódio são discutidos no Apêndice 1.

Ao elaborar essa atividade, tínhamos como pressuposto que esses dados seriam essenciais para que os alunos pudessem pensar que existe outra forma de organização mais estável do que a resultante da simples atração de um íon Na^+ e um íon Cl^- ou, ainda, para confirmar a validade de seus modelos. Assim, pressupúnhamos que a reformulação dos modelos moleculares para o NaCl seria mais bem sucedida com os dados da Atividade 7, juntamente com os fornecidos na Atividade 6. Isso porque anteriormente (Atividades 3 e 5) já havia sido discutido que quanto maior a liberação de energia na formação de uma substância, mais estável ela seria. Logo, o cloreto de sódio

formado deveria ter uma organização mais complexa de íons que justificasse sua estabilidade. Além disso, julgamos que pensar na elevada temperatura de fusão relacionando-a à força da ligação e ao estado de agregação fosse uma questão bastante desafiadora e de elevada exigência cognitiva para esses alunos. Eles tinham idéia de como ocorriam as mudanças de estado físico a partir do modelo de partículas para cada estado, porém, ainda não tinham focado seu pensamento no como e no porquê da necessidade de mais ou menos energia para fundir determinadas substâncias.

Nesse caso, esperávamos que os alunos percebessem que a atração entre os íons não se dá na forma de pares de NaCl, e sim que existem várias atrações, formando uma rede. A denominação 'rede' não foi mencionada aos alunos durante a exposição dos dados. O que foi dito é que na formação da estrutura mais provável para o cloreto de sódio era liberada uma maior quantidade energia. Esperávamos que eles associassem esses dados com a relação entre liberação de energia e a estabilidade discutida em aulas anteriores (Atividade 3). É importante enfatizar que não tínhamos nenhuma expectativa de que eles chegassem exatamente ao modelo curricular (estrutura do cloreto de sódio como um retículo cúbico), uma vez que não teriam dados suficientes para isso, mas que pudessem ser capazes de perceber a necessidade da existência de uma estrutura mais complexa de íons do que aquela resultante da atração unitária entre eles.

Essa atividade, incluindo sua discussão, foi realizada durante o período de 2 horas/aula.

4.8. Atividade 8: Proposição de um modelo consensual para o cloreto de sódio

Após a modificação ou reformulação dos modelos para o cloreto de sódio a partir dos dados empíricos das atividades anteriores, pensamos que seria importante a realização de um novo teste para os modelos elaborados pelos alunos.

Para isso, na Atividade 8, pedimos aos alunos que utilizassem seus modelos atuais para explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio. Caso ainda houvesse algum aluno que não tivesse conseguido pensar numa organização mais complexa de íons, esta seria uma nova oportunidade para ele refletir sobre o modelo para o cloreto de sódio.

Tal processo culminou com a proposição do modelo final de cada grupo para a estrutura do cloreto de sódio.

A professora conduziu a discussão desses modelos tentando favorecer a elaboração de um modelo consensual para o cloreto de sódio. Entretanto, não se chegou a um modelo único para toda turma, mas a vários modelos diferentes (em termos do formato e da extensão da rede proposta) que explicavam satisfatoriamente os mesmos aspectos. Desta forma, os objetivos iniciais foram atingidos, ou seja, discutiu-se alguns aspectos relevantes sobre o modelo do cloreto de sódio sem que os alunos tivessem que aceitar um único modelo imposto pela professora.

A professora terminou esta aula valorizando os modelos propostos pelos alunos e enfatizando o poder explicativo deles. Ela utilizou um contexto (extensão da rede do cloreto de sódio) para apresentar o modelo curricular, enfatizando que os alunos não possuíam dados para saber a extensão da rede, mas que, mesmo assim, seus modelos tinham um grande poder explicativo. Agindo dessa maneira, a professora buscava valorizar todo o processo de ensino para que os alunos percebessem que eles mesmos foram capazes de pensar em vários aspectos sem que esses lhes fossem apresentados prontos.

Depois, baseado em outros dados – figuras do retículo cristalino de sólidos iônicos propostas a partir de técnicas de cristalografia de raios X – o modelo curricular do cloreto de sódio (retículo cúbico – Apêndice 1) foi apresentado aos alunos.

Nesse momento, foi importante a professora ajudar os alunos a perceber que seus modelos tinham limitações, mas que, independente disso, eram instrumentos poderosos para prever e explicar várias características dos compostos iônicos. Isso está relacionado à etapa de *considerar abrangências e limitações de um modelo* no diagrama Modelo de Modelagem.

Após a apresentação do modelo curricular para o cloreto de sódio, a professora promoveu uma discussão utilizando os textos 1 e 2 (ver Apêndice 12) como materiais de apoio. Nessa discussão, o que havia sido estudado para o cloreto de sódio foi generalizado para todos os compostos iônicos. O intuito era ampliar os conhecimentos dos alunos sobre o assunto. Assim, a partir de aspectos que haviam sido discutidos anteriormente para o cloreto de sódio, a professora comentou sobre força de atração eletrostática e abaixamento de energia na formação da ligação iônica. A seguir, discutiu

outras propriedades dos compostos iônicos (como, por exemplo, temperatura de ebulição e condutividade elétrica) e apresentou exemplos de outras substâncias iônicas.

Essa atividade foi realizada durante o período de 2 horas/aula.

4.9. Atividade 9: Uma reflexão sobre o aprendizado da ligação iônica

Nesta atividade, os alunos tiveram um espaço para refletir sobre o processo que haviam vivido nas últimas aulas. Eles responderam, individualmente, algumas perguntas (Apêndice 13) e depois a professora conduziu uma discussão com a turma. Nessa discussão, foi possível ouvir mais idéias do que apenas aquelas que eles haviam registrado no papel. A professora dialogou com os alunos sobre o processo de ensino que eles tinham vivido: se eles gostaram, quais pontos eles perceberam como positivos e negativos, se eles acharam que aprender daquela maneira era melhor do que da maneira como estavam habituados, além de se, e como (ou em que extensão), eles percebiam que o processo vivido por eles se assemelhava ao vivido pelos cientistas na busca por entender algo. Esta atividade foi realizada em 1 hora/aula.

4.10. Avaliação da Aprendizagem

Nesta aula, que aconteceu no período de provas trimestrais, os alunos fizeram uma avaliação sobre o tema ligação iônica. As questões tinham como intuito favorecer a utilização dos conhecimentos anteriormente desenvolvidos durante as aulas de modelagem. Elas eram abertas, pois era desejado que os alunos expressassem suas idéias livremente, ao invés de simplesmente expressarem conhecimentos declarativos sobre o assunto. Além disso, elas exigiam dos alunos a explicação de propriedades macroscópicas em termos submicroscópicos. A versão completa das questões encontra-se no Apêndice 14..

Na primeira questão, pedimos aos alunos que explicassem, da maneira mais completa possível, como o cloreto de sódio é formado a partir de Na e Cl inicialmente neutros. Nesse caso, os alunos deveriam explicar como uma substância iônica é formada e como seria o modelo para ela. Nas questões 2 e 3, os alunos deveriam utilizar o modelo proposto para explicar uma propriedades dos compostos iônicos: seus elevados valores de temperatura de fusão. Eles deveriam, ainda, pensar num modelo para o

composto iônico na forma líquida. Finalmente, na última questão, os alunos deveriam pensar em outras substâncias iônicas diferentes do cloreto de sódio, prevendo quais características da ligação iônica se aplicam a todos os compostos iônicos e quais são características distintas.

CAPÍTULO 4

INVESTIGANDO O APRENDIZADO DE ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS AO TEMA LIGAÇÃO IÔNICA, O APRENDIZADO SOBRE MODELOS E A PERCEPÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O PRÓPRIO APRENDIZADO

1. ESTUDOS DE CASO.....	58
2. GRUPO 1	58
2.1. Estudo de Caso	58
2.2. Análise do Estudo de Caso	77
3. GRUPO 2	86
3.1. Estudo de Caso	86
3.2. Análise do Estudo de Caso	103
4. GRUPO 3	109
4.1. Estudo de Caso	109
4.2. Análise do Estudo de Caso	126
5. GRUPO 4	133
5.1. Estudo de Caso	133
5.2. Análise do Estudo de Caso	148
6. ANÁLISE DOS QUATRO ESTUDOS DE CASO	154
6.1. A contribuição do processo para a aprendizagem de alguns aspectos conceituais de ligação iônica	154
6.1.1. Aspectos relacionados ao diagrama modelo de modelagem	154
6.1.2. Aspectos metodológicos: ações empregadas durante a aplicação da estratégia de ensino.....	161

6.2. A compreensão do papel dos modelos na ciência	162
6.3. A percepção dos alunos sobre o próprio aprendizado	164

INVESTIGANDO O APRENDIZADO DE ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS AO TEMA LIGAÇÃO IÔNICA, O APRENDIZADO SOBRE MODELOS E A PERCEPÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O PRÓPRIO APRENDIZADO

1. ESTUDOS DE CASO

A seguir serão apresentados estudos de caso para cada grupo. Como discutido no capítulo 3 (Desenho Metodológico da Pesquisa), para a composição desses estudos de caso, foram utilizados como fontes de dados a filmagem das aulas, as atividades escritas, os modelos produzidos pelos alunos, a avaliação de aprendizagem e as impressões e anotações da professora ao longo do processo de ensino. Os estudos de caso terão com objetivo evidenciar como os diferentes elementos do processo de ensino por modelagem favoreceram o aprendizado de ligação iônica.

2. GRUPO 1

2.1. Estudo de Caso

Na atividade 1 discutiu-se sobre as concepções de modelo apresentadas pelos alunos. Inicialmente, A1 ressaltou a idéia cotidiana de modelo como sinônimo de manequim. Posteriormente, A2 disse que os modelos não precisariam ter o mesmo tamanho daquilo que representam e nem enfatizar todas as características.

Ao analisar a concepção de modelo apresentada na tirinha (questão 2), inicialmente, os componentes desse grupo focalizaram a explicação semântica do que estava escrito na tirinha e não a interpretação referente à concepção sobre modelo expressa na mesma. Percebendo isto, a professora perguntou aos alunos se o globo terrestre era um modelo e por que. A partir das indagações, o grupo apresentou respostas que demonstraram duas idéias divergentes de modelo. A primeira, de algo que

representa parcialmente e facilita o entendimento (A1 e A2) e, a segunda, de modelo como uma cópia de algo (A3). Durante as discussões, a professora deixou claro que modelos não são cópias fiéis da realidade.

Prosseguindo as discussões, A2 demonstrou uma idéia inadequada sobre modelos. Para ela, um modelo era algo que não podia ser visto. A13G4 ressaltou que não concordava com essa idéia e a professora lhe disse que os modelos poderiam ter como função representar entidades abstratas, como os átomos. Com isso, A2 concluiu que um modelo poderia representar tanto algo concreto quanto abstrato. A2 concordou com A13G4 a respeito de os modelos existirem na mente, portanto, de não serem apenas representações concretas.

Quanto à discussão sobre os nove sistemas apresentados pela professora, todos os componentes desse grupo afirmaram que o carrinho de brinquedo se tratava de um modelo, pois representava algo real (A1 e A2) e era uma miniatura (A2 e A3).

A molécula de água em bolas e varetas foi classificada como modelo por todos componentes do grupo, por “*representar quimicamente*” a água. Em relação à fórmula química, A1 disse que se tratava de um modelo, porque também era uma forma de representar a água, enquanto A2, A3 e A4 disseram que não era modelo, porque era a fórmula química. Durante a discussão com a turma sobre essa última representação, parece ter ficado claro para o grupo que as fórmulas químicas são modelos, por representarem a proporção entre os átomos, por exemplo.

Para A1 e A3, a dissolução do permanganato de potássio em água não era um modelo, pois era o próprio fenômeno, enquanto para A2 era um modelo de mistura homogênea, por ser um tipo de mistura dessa natureza. Na discussão com a turma parece ter ficado claro para os alunos desse grupo que o sistema era o próprio fenômeno, portanto não era modelo.

Quanto às representações da dissolução, A1, A2 e A3 disseram que o desenho das partículas sub-microscópicas e o da aparência macroscópica da mistura homogênea eram modelos, por representar aspectos distintos da dissolução.

Para este grupo, a representação que enfocava as partículas submicroscopicamente era um modelo melhor do que a representação macroscópica. A professora, ao discutir com a turma, disse que não havia melhor modelo nesse caso, pois essa escolha deveria se basear nos objetivos de cada representação e no conhecimento anterior dos indivíduos para se utilizar um modelo ou outro.

Todos os alunos desse grupo disseram que o gráfico e a fórmula de movimento retilíneo uniforme eram modelos, sendo que alguns justificaram a escolha dizendo que o gráfico e a fórmula representavam um tipo de movimento e eram úteis para se fazer previsões.

Todos os alunos desse grupo classificaram mapas como modelos utilizando o critério representação. A2 também se referiu ao fato de mapas terem limitações.

Em relação à Atividade 2, os alunos deste grupo decidiram utilizar um ímã para verificar se havia atração entre ele e objeto da caixa. A partir disso e de observações como peso, som e movimento, construíram um modelo para o objeto. A2 disse à professora que o importante não seria acertar, mas ser coerente com os dados e usar a imaginação. A1 demonstrou desacordo, afirmando que aquilo estava parecendo um *“jogo de adivinhação”*.

Ao apresentar suas conclusões para a turma, eles foram coerentes com as observações feitas. Ao serem indagados pela professora, disseram que partiram de um conhecimento anterior, como por exemplo, se alumínio, ferro e plástico eram ou não atraídos por um ímã e pensaram em objetos do cotidiano para propor o modelo. Também disseram que a observação é um passo importante na confecção de modelos e demonstraram a idéia de que um modelo pode sofrer aprimorações, o que para eles ocorre com os modelos científicos. Para esse grupo, o processo vivido em sala de aula, na realização da atividade, tinha aspectos semelhantes com o vivido pelos cientistas na proposição de modelos, principalmente porque eles também levam em consideração as observações e por haver casualidade. A2 disse que havia diferenças entre o processo vivido por eles em comparação ao dos cientistas, pelo fato de os últimos (considerados por ela como ‘gênios’) terem muito mais conhecimento. Para A2, seria possível enxergar os átomos com o auxílio de um microscópio bem potente, situação que conduziria à proposição de modelos sobre eles.

Esse grupo disse ter compreendido o motivo da não abertura da caixa quando a professora afirmou que o conhecimento científico era susceptível a modificações, ressaltando o caso dos modelos atômicos e as incertezas dos cientistas.

Para explicar como se dava a formação do óxido de magnésio, a aluna A2 questionou a professora se para a transformação ocorrer era necessária apenas a presença de fogo. A professora chamou atenção para a fórmula química da nova substância (MgO), formada a partir da transformação do magnésio. A aluna A2 falou,

então, da necessidade de oxigênio para que ocorresse a combustão. Os componentes do grupo concordaram. Esta aluna falou, ainda, da necessidade de atrito para acontecer a combustão. Quando a professora lhe questionou sobre o que seria atrito, ela disse ser o contato entre as substâncias. Portanto, o grupo 1 concluiu que para a formação do óxido era necessário um processo de combustão com oxigênio, calor (aquecimento) e atrito.

Para tentar explicar a luz oriunda da queima da fita de magnésio, a aluna A2 disse à professora que o magnésio seria uma substância inflamável. A professora lhe questionou sobre o significado disso, obtendo como resposta que inflamável seria uma substância que com o calor entra em combustão e libera luz.

Os alunos do grupo 1 apresentaram duas idéias para explicar a necessidade do fogo na transformação: a de que o fogo era necessário para promover contato entre as substâncias e a de que era necessário o aquecimento para ocorrer a transformação. Para tentar explicar a transformação do magnésio em óxido de magnésio nas máquinas fotográficas, a aluna A1 afirmou que seria necessário algum tipo de energia, não necessariamente só o calor, como apontado por A2. A aluna A1 reconheceu que teve esta idéia a partir da solicitação da professora de que eles pensassem em algo presente na máquina que favorecesse a transformação. Ela concluiu que as pilhas presentes na máquina forneciam a energia necessária. Com isso, os alunos desse grupo perceberam a necessidade de algum tipo de energia para a ocorrência da transformação.

Em relação à questão 5 da Atividade 3 (que solicitava aos alunos que apontassem qual substância – magnésio ou óxido de magnésio – era mais estável e justificassem a escolha), os alunos do grupo 1 pensaram em substância mais estável como sendo aquela que não mais se modifica, como pode ser exemplificado pelas falas:

“O MgO é o mais estável porque não mudou de cor, não variou durante a queimação [sic]. Já o Mg mudou.” (A1)

“O Mg sofre transformação em outra substância e o MgO não. Se aquece e continua a mesma substância.” (A2)

A idéia desta questão precisou ser melhor elaborada. Como nas apresentações dos demais grupos todas as idéias foram semelhantes às do grupo 1, a professora promoveu um fechamento da discussão relacionando estabilidade com abaixamento de energia. Em suas palavras:

“A conclusão que a gente chega é a seguinte: quando um átomo se liga, se une a outro para formar uma nova substância, a reação só ocorrerá se a nova substância tiver menos energia do que a inicial. Átomos de magnésio com átomos de oxigênio vão se unir para formar uma nova substância que é o óxido de magnésio e isso acontece com abaixamento de energia. E isso pode ser comprovado com a liberação daquela luz. Aquela luz é liberação de energia, perda de energia. Esse sistema (Mg e O₂) ao se unir, ligar, liberou energia. Então esse (MgO) tem menos energia e é o mais estável.”

Em relação às quatro questões da parte A da Atividade 3 (que envolviam a transformação com e na ausência de fogo e na máquina fotográfica), esse grupo apresentou idéias coerentes sobre a transformação do magnésio em óxido de magnésio, como: necessidade não só da chama (calor, aquecimento), mas de algum tipo de energia para que a transformação (combustão que ocorre na presença de O₂ com liberação de luz) ocorresse. Na discussão geral, a professora debateu com o grupo sobre a diferença de intensidade da luz da chama e da luz liberada para enfatizar que as energias eram diferentes e questionou sobre a possível origem da energia liberada.

Com relação à parte B da Atividade 3 (formas mais estáveis de se encontrar as substâncias na natureza), os alunos do grupo 1 demonstraram algumas confusões sobre os conceitos de substância e mistura (mistura homogênea equivalente a substância, minério de ferro é uma substância simples).

Como fechamento da parte B da Atividade 3, a professora utilizou o exemplo do elemento químico oxigênio que pode ser encontrado em diferentes substâncias, como o gás oxigênio, gás ozônio e a água. O intuito da professora era o de utilizar esse exemplo para deixar claro que uma substância é estável desde que as condições (temperatura, pressão) para a sua formação e manutenção sejam favoráveis: *“Por isso, temos oxigênio em certas camadas da atmosfera mais próximas de nós e ozônio em outras mais distantes”*.

Após a disponibilização dessas idéias iniciais sobre formação de substâncias, os alunos deveriam propor um modelo para formação de íons. A professora, inicialmente, relembrou alguns conceitos anteriormente trabalhados no 1º ano: número atômico, número de elétrons de átomos neutros e carregados. Ela fez isso através de uma discussão com os alunos, apresentando exemplos, sem, entretanto, induzi-los a alguma resposta da Atividade 4.

Durante essa discussão inicial, parecia que a aluna A2 tinha conhecimento do conceito de energia de ionização e de íons, pois ela participou ativamente da mesma. Porém, quando o grupo discutiu a questão 1, foi possível perceber que os alunos não conseguiam aplicar os conceitos na resolução do problema. O grupo, então, pediu ajuda à professora para propor um modelo que explicasse a formação de íons. A professora solicitou que eles olhassem a tabela da atividade com atenção, que percebessem quais elementos tinham valores maiores ou menores de 1ª energia de ionização e que, a partir daí, tentassem encontrar algum relacionamento. Além disso, ela os ajudou a entender o que significava um valor mais alto ou mais baixo de energia de ionização.

Na atividade escrita das alunas A1, A2 e A3, elas responderam que:

“um íon positivo é formado porque tem um valor de energia de ionização menor e um íon negativo é formado porque tem um valor de energia de ionização maior”,

sem fazer nenhum relacionamento com a força de atração que o núcleo exerce sobre os elétrons, ou em termos de estabilidade com abaixamento de energia, ou seja, fizeram um relacionamento com os dados apresentados, porém, confusa, ou incompletamente.

Ao analisarem quais íons seriam mais estáveis, surgiu novamente a dúvida, por parte da aluna A1, sobre o que significaria ser estável. A professora lhe recomendou que pensasse em termos da distribuição em níveis de energia de acordo com o modelo de Bohr e nos valores de energia de ionização.

As alunas A1, A2 e A3 chegaram à conclusão de que os íons mais estáveis eram o Na^+ e o Cl^- . Em suas atividades escritas, elas registraram corretamente a distribuição em níveis de energia, de acordo com o modelo de Bohr.

Durante a discussão com a turma, foi possível perceber que os alunos desse grupo conseguiram melhorar muito suas idéias, não se restringindo apenas ao fato de o íon Cl^- ser o mais estável por ter o último nível completo. Por exemplo, na atividade da aluna A1, foi possível perceber o uso de uma interpretação inadequada para a energia de ionização como sendo algo que o átomo possui. Durante a discussão final, a professora tentou ajudar a aluna a modificar essa concepção, enfatizando que essa energia é fornecida por uma fonte externa ao átomo. Além disso, aproveitando a explicação de A13G4 – que relacionava energia de ionização com a força de atração coulombiana –, a professora ressaltou, especialmente para o grupo 1, que a necessidade de menor energia

significa que o núcleo exerce menos atração sobre seu elétron de um nível energético mais afastado.

Após ter sido estabelecido um consenso entre os alunos da turma sobre os íons mais estáveis serem o íon sódio e o íon cloreto, os alunos deveriam explicar, na Atividade 5, como esses íons interagem. Na questão 1, os alunos do grupo 1 propuseram dois modelos distintos para representar o sistema Na^+ , Cl^- , H_2O . Primeiramente, eles propuseram um modelo representando o sistema macroscopicamente. A professora já havia chamado a atenção de outro grupo para que representasse o sistema enfocando as partículas. Percebendo isto, a aluna A1 fez referência à discussão sobre modelos realizada na primeira aula. A professora, então, lembrou que naquela aula ela representou o sistema permanganato de potássio em água de duas formas distintas. Com base nisso, o grupo 1 começou a pensar também numa representação microscópica.

Na figura 4 é apresentado o desenho encontrado nas atividades escritas de A1, A2 e A4 para o modelo que representa o cloreto de sódio dissolvido em água.

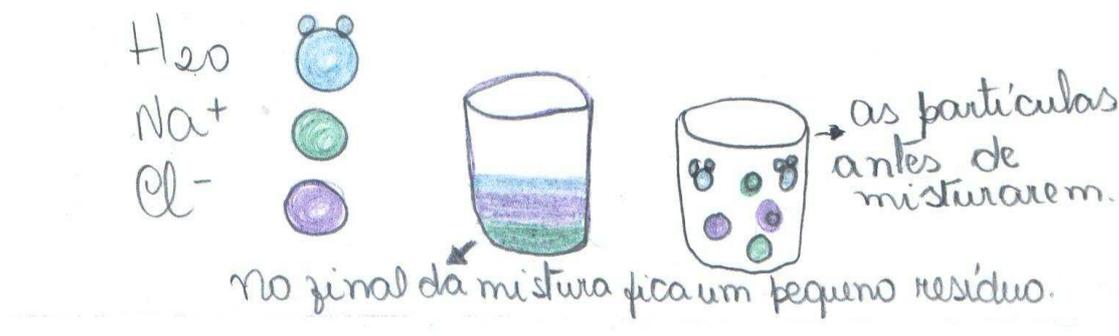


Figura 4. Desenho da aluna A2G1 para a dissolução do NaCl em água.

Com relação à representação macroscópica, as alunas A1, A2 e A4 representaram três fases de cores distintas em um recipiente. De acordo com a representação, a primeira fase, ou fase superior, seria a água, a segunda seria Cl^- , a terceira seria Na^+ e, ainda, um pequeno resíduo sólido no fundo. Ao explicar o desenho, a aluna A1 demonstrou uma idéia diferente sobre o sistema, que não condiz com seu desenho, apresentado na atividade escrita:

“Esse aqui (se referindo à representação macroscópica) é tudo misturado dando uma mesma cor.” (A1)

A aluna A2 frisou que as partículas se uniram formando uma só substância, ou seja, essa aluna demonstrou uma confusão entre os conceitos de mistura homogênea e substância.

As alunas A1, A2 e A4 mostraram em seus desenhos que a representação microscópica seria antes das partículas se misturarem e que a representação macroscópica seria como ficam tais partículas após a mistura. Nesta situação, elas pensavam que elas se uniram.

A figura 5 mostra o desenho da aluna A3 para a dissolução do NaCl em água.



Figura 5. Desenho da aluna A3G1 para a dissolução do NaCl em água.

Diferentemente de A1, A2 e A4, a aluna A3 representou o sistema macroscopicamente evidenciando a existência de duas fases distintas. Para ela, na fase superior, água e cloro que se misturaram mais rápido e, na fase inferior, o sal seria o resíduo no fundo do recipiente. A água e o cloro foram representados como um contínuo de cor azul, enquanto o sal foi representado com esferas (possivelmente reproduzindo um fenômeno de dissolução cotidianamente observado no nível macroscópico). Na representação microscópica dessa mistura, ela enfatizou a molécula de água, a partícula de sal (sem se referir à interação entre Na^+ e Cl^-), e algumas partículas de cloro. No desenho dessas partículas, a aluna representou os átomos de oxigênio da molécula de água da mesma cor que o átomo de cloro (que na legenda ela chamou de Cl^-). Em sua legenda, o que foi identificado no desenho como 'sal' foi escrito como Na^+ .

Percebe-se que os alunos desse grupo pensaram em cloro como sendo outra substância, como eles mesmos deixaram claro na discussão com a professora. A professora comentou essas incoerências com o grupo, enfatizando que não haveria outra forma de encontrar o átomo de cloro no sistema diferentemente do íon cloreto

interagindo com o íon sódio. Com isso, A2 enfatizou que se o sistema final era uma mistura homogênea de sal de cozinha dissolvido em água, pois não poderia haver só uma substância, uma vez que o próprio conceito de mistura remete a pelo menos dois componentes distintos no sistema.

Na representação microscópica desse sistema (figuras 4 e 5), esses alunos não deixaram claro se poderia existir uma interação entre os íons de carga oposta, ou com a molécula de água. Elas apenas escreveram 'união das partículas', sem especificar o significado que atribuíam à palavra 'união'.

O modelo desse grupo para a questão 2 (modelo para o cloreto de sódio após a evaporação de água), expresso em duas formas diferentes, pode ser visto na figura 6.

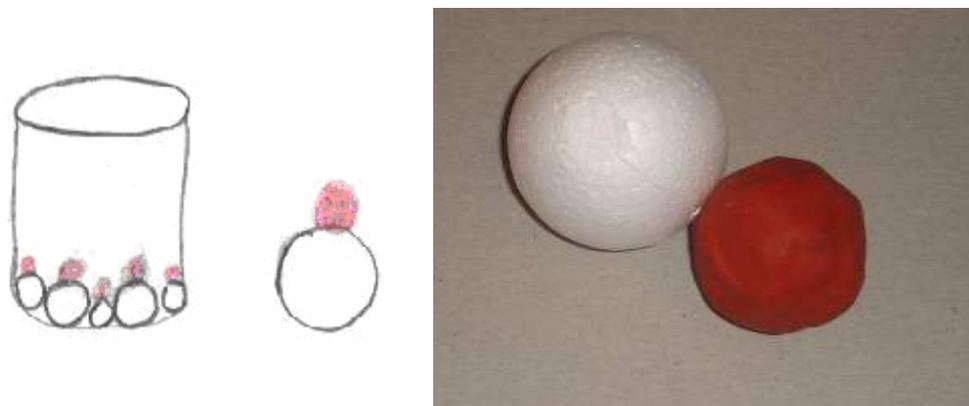


Figura 6. Modelo do grupo 1 para o cloreto de sódio.

Na discussão com toda turma, os alunos do grupo 1 apresentaram esse modelo e disseram que a bolinha vermelha representava o Na^+ e a branca o Cl^- .

Apesar de não pensarem em interação na questão 1 (figuras 4 e 5), foi possível constatar que os alunos deste grupo conseguiram pensar em atração entre um par de íons de carga oposta ao propor o modelo para o cloreto de sódio após a evaporação da água (figura 6). Porém, para que eles explicitassem claramente suas idéias, foi necessária a intervenção da professora fazendo perguntas que levaram os alunos a pensar melhor sobre a 'união das partículas'. Inicialmente, quando a professora lhes questionou sobre o fato de os íons se juntarem após a evaporação da água, surgiram explicações como:

A3: "A água vai secando e aí os dois vão ficando juntos."

Prof.: "Quando a água evapora os íons vão ficar juntos?"

A1 e A3: "É".

Prof.: "E aí no caso é só um par, uma unidade, Na^+Cl^- ?"

- A1: *“É, porque a água evaporou.”*
- Prof.: *“E você tem idéia de por que eles ficam juntos?”*
- A1: *“Por causa da falta da água.”*
- A3: *“Por causa do oxigênio.”*
- A2: *“Tem a ver com os espaços.”*
- Prof.: *“Vocês pensaram nas cargas?”*
- A2: *“Então talvez pode ser os tipos de íons.”*
- A2 (pergunta a A13G4): *“Por que eles estão ligados assim?”*
- A13G4: *“Por que eles juntam?”*
- A2: *“É?”*
- A13G4: *“Porque para haver ligação tem que ter um e outro. Você não pode ter ligação do mesmo.”*
- A2: *“Eles se amam. Por isso eles ficam todos juntinhos.”*

Os alunos desse grupo questionaram a professora sobre se a atração entre os íons tinha relação com a energia de ionização. A professora, então, lhes pediu que explicassem porque isso poderia influenciar na união, na interação.

Ao apresentarem seu modelo para a turma, eles o justificaram mostrando duas idéias: interação entre íons de cargas opostas e diferença de valores de energia de ionização. Porém, o grupo não conseguiu explicar porque as diferenças de valores de energia de ionização influenciavam e, mais uma vez, foram expressas concepções inadequadas sobre energia de ionização presentes na atividade escrita dos componentes do grupo como, por exemplo: *“Porque um tem energia de ionização negativa e o outro positiva, por isso eles se atraem.”* (A2, resposta à questão 4).

No fechamento da discussão, a professora, chamou atenção para essa confusão, destacando que, como eles haviam falado sobre interação entre íons de cargas opostas, necessariamente, deveria existir um átomo que formasse cátion e outro que formasse ânion, o que justificaria as diferenças nos valores de energia de ionização.

Como pode ser observado na figura 6, eles representaram um modelo molecular para o cloreto de sódio. É importante ressaltar que na atividade escrita desses alunos, eles representaram num recipiente várias unidades Na^+Cl^- (semelhante a moléculas polares, mas sem interações) (ver o desenho do modelo). Porém, ao expressarem o modelo concreto do grupo, eles representaram simplesmente uma unidade e não falaram

a respeito de possíveis interações entre essas unidades, apenas das interações entre os átomos (íons de cargas opostas).

Em relação à questão 5 (sobre estabilidade da substância formada em relação aos seus constituintes) os alunos, assim como na Atividade 3, falaram sobre estabilidade em termos de substância que não mais sofre transformação. Para eles, o mais estável era o NaCl, como evidenciado na seguinte discussão:

A1: *“A gente colocou que é o cloreto de sódio o mais estável porque ele não sofre transformação. Entendeu?”*

A1/A2: *“Depois das duas substâncias que formou ele [sic], ele não mais se transformou, ficou o sal. Daí o mais estável.”*

A1: *“Os outros se transformaram. Se uniram.”*

A1/A2: *“O Na⁺ e o Cl⁻ se uniram formando outra substância.”*

Prof.: *“Cloreto de sódio.”*

A2: *“Isso.”*

Prof.: *“E o cloreto de sódio não sofreu mais alteração, continuou sendo o cloreto de sódio. É isso? E por isso ele é mais estável?”*

A2: *“Isso.”*

Prof.: *“Beleza. Mas e se eu colocar água de novo no sal de cozinha? O que acontece?”*

A2: *“Nós não pensamos nisso.”*

Prof.: *“Aí eu torno a ter o Na⁺ e Cl⁻ dissolvidos em água. Igual aqui (modelo da questão 1 – figuras 4 e 5).”*

Prof.: *“E quando a água evapora?”*

A1/A2: *“De novo o cloreto de sódio.”*

Prof.: *“Então o cloreto de sódio é estável?”*

A1: *“Então não é não?”*

A1: *“Então qual é o estável?”*

A1: *“Então é a água então. Não, não é. Aliás na questão nem fala para comparar com a água.”*

Após essa discussão, a professora entrevistou lembrando aos alunos sobre a Atividade 3, na qual eles haviam discutido sobre estabilidade das substâncias magnésio e óxido de magnésio, e promoveu um fechamento, tentando deixar claro novamente o abaixamento de energia quando os íons interagem para formar o cloreto de sódio.

Na Atividade 6, os alunos deveriam testar o modelo elaborado por eles anteriormente. Para isso, a professora deixou bem claro o motivo de se testar o modelo e lhes forneceu um dado empírico: a temperatura de fusão do cloreto de sódio. Ela deixou claro que um valor alto de temperatura de fusão significava que seria necessário fornecer muita energia ao cloreto de sódio sólido para que ele se transformasse em cloreto de sódio líquido.

A figura 7 mostra o modelo desse grupo para o cloreto de sódio sólido e o cloreto de sódio líquido.

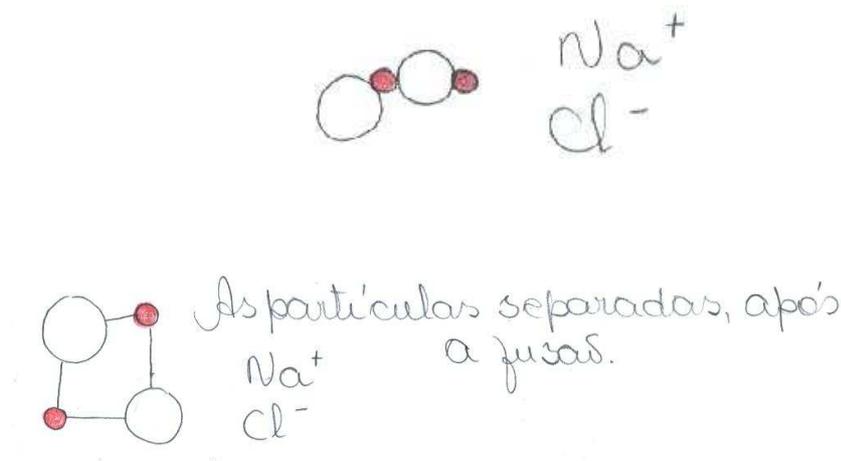


Figura 7. Modelo do grupo 1 para o cloreto de sódio nos estados sólido e líquido.

Primeiramente, eles pensaram em como seria o modelo para o cloreto de sódio líquido. Eles pensaram em características coerentes para o cloreto de sódio líquido, lembrando o modelo de partículas anteriormente estudado. No modelo para o cloreto de sódio líquido, os íons foram representados mais separados uns dos outros em comparação com o modelo que eles haviam proposto anteriormente para o cloreto de sódio sólido. Ao fazer isso, eles representaram uma incoerência: a não conservação de matéria. No caso do cloreto de sódio sólido, eles representaram, inicialmente, só uma unidade Na^+Cl^- e depois, para o cloreto de sódio líquido, foram representadas duas unidades Na^+Cl^- . A professora entrevistou, ressaltando essa incoerência para o grupo. Como resultado dessa intervenção, eles foram capazes de pensar em unidades do sólido e do líquido coerentes com o modelo de partículas e que representassem a conservação de matéria, como pode ser visto na figura 7. Além disso, eles começaram a desenvolver a idéia de mais atrações entre os íons de carga oposta (aspecto também presente na figura 7).

Durante a elaboração desse modelo, a professora entrevistou solicitando que os alunos pensassem no processo de transformação, não apenas nos sistemas inicial (cloreto de sódio sólido) e final (cloreto de sódio líquido). Além disso, ela enfatizou a necessidade de eles analisarem se o modelo deles para o sólido (figura 6 - Atividade 5) era capaz de explicar a necessidade do fornecimento de muita energia para se obter a substância líquida.

Durante a elaboração do modelo (figura 7), os componentes desse grupo informaram à professora que achavam que seu modelo para o cloreto de sódio sólido não explicava a alta temperatura de fusão do cloreto de sódio e que, por isso, iriam propor um modelo para o cloreto de sódio líquido. A professora tentou deixar claro para eles que reformular o modelo seria propor modificações no modelo para o cloreto de sódio sólido de maneira que ele explicasse a elevada temperatura de fusão, e não propor o modelo do cloreto de sódio líquido.

Os componentes do grupo 1 responderam à primeira questão da Atividade 6 (se o modelo proposto por eles na Atividade 5 explicava o valor elevado da temperatura de fusão do NaCl) da seguinte forma:

“Com a temperatura de fusão as partículas se separam, e passa para o estado líquido. A alta temperatura fornece energia, perde a atração, do negativo com o positivo e se separam.”

Esses alunos não concluíram se seu modelo para o cloreto de sódio sólido passava pelo teste e nem reformularam o modelo para o cloreto de sódio sólido nessa atividade. Porém, eles foram capazes de pensar em aspectos importantes sobre a fusão do cloreto de sódio como, por exemplo, o rompimento de ligação interatômica e o fato de o fornecimento de energia afastar as partículas (figura 7).

Durante as discussões no grupo, a aluna A1 demonstrou uma concepção alternativa. Para a aluna, se qualquer substância ficasse exposta durante muito tempo sob aquecimento de um fogão, ou da luz solar poderia adquirir a energia necessária para fusão. A professora dialogou com essa aluna, tentando lhe mostrar que o que importava não era o tempo de exposição da substância aquecida, mas sim a energia fornecida.

Na Atividade 7, a professora começou a aula informando aos alunos um dado empírico em relação à formação do cloreto de sódio.

Prof.: “*Em aulas passadas foi discutido que para que uma substância exista é necessário que ela seja mais estável que os átomos isolados. O processo de formação de partículas de cloreto de sódio em pares a partir de um mol de íons Na^+ e Cl^- libera uma quantidade de energia igual a $104,5\text{kcal/mol}$ ³¹ de cloreto de sódio formado. Entretanto, quando a substância cloreto de sódio é formada, obtém-se experimentalmente que a quantidade de energia liberada é de 206kcal/mol . Como esse processo libera mais energia do que o descrito anteriormente, o produto formado nele é mais estável do que o formado anteriormente. Em outras palavras, existe outra forma de organização mais estável do que a resultante da simples atração de um íon Na^+ e um íon Cl^- .*”

Com base nessas informações, o grupo 1 conseguiu pensar em um novo modelo para o cloreto de sódio sólido, apresentado na figura 8.

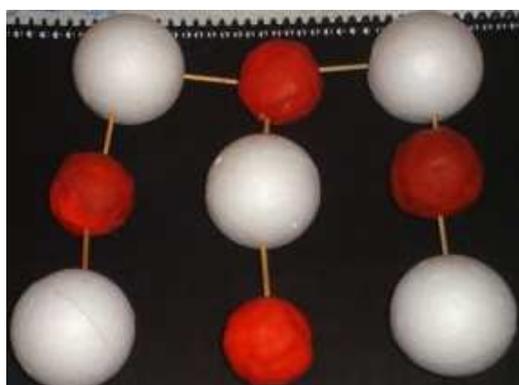


Figura 8. Modelo do grupo 1 modificado para o cloreto de sódio sólido.

Eles conseguiram pensar nesse novo modelo sem intervenções da professora (apenas com base na informação citada anteriormente, fornecida no início da atividade). A justificativa para esse modelo está evidenciada na resposta deste grupo à questão 1 da Atividade 7:

“Se um par de Na^+Cl^- é $104,5\text{kcal}$, aumentamos os pares para que a energia liberada fosse de 206kcal , pois a atração entre vários. O material escolhido, bolinhas de isopor e massinha vermelha, foi apenas para diferenciar Na^+ do Cl^- . A variação de tamanhos está relacionada com a carga $+e^-$.”

Através das análises das atividades escritas dos componentes do grupo 1 e da participação dos mesmos na discussão em sala de aula, foi possível perceber que eles apresentaram idéias iniciais muito interessantes como, por exemplo, a necessidade de

³¹ Apesar de os alunos não saberem o que era mol, isso não interferiu no processo porque a professora simplificou a explicação dizendo que aquilo se tratava de uma quantidade fixa, uma medida utilizada pelos químicos, que equivalia a um número muito grande.

mais íons interagindo uns com os outros para que ocorresse um maior abaixamento de energia. Tais idéias precisariam apenas ser melhor trabalhadas posteriormente, para que eles não apresentassem modelos híbridos para as substâncias iônicas (com características de duas ligações distintas, iônica e covalente) e para que ficasse claro que as várias atrações eram ligações entre íons e não atrações entre 'moléculas de NaCl', semelhante à interação intermolecular dipolo-dipolo.

Durante a elaboração desse modelo, a professora entrevistou na discussão do grupo para questionar sobre qual tipo de modelo atômico eles estavam adotando ao utilizar aquelas representações para cada átomo no modelo proposto por eles. Ela também solicitou que eles pensassem em uma propriedade periódica, já estudada, que fosse capaz de explicar a diferença de tamanhos dos íons.

Sem demonstrar qualquer dúvida, os componentes do grupo 1 se referiram ao modelo de Dalton. Eles não conseguiram pensar na propriedade raio atômico. No final da discussão com toda a turma, a professora comentou que a bolinha que representa o ânion deveria ser maior do que a que representa o cátion, não só porque no ânion existem mais elétrons, mas porque, de acordo com o modelo de Bohr, esses se encontravam distribuídos em mais níveis de energia em relação ao cátion.

Durante a socialização dos modelos, a aluna A2 questionou a professora se as várias ligações poderiam ser em quaisquer direções e não apenas em um único plano, como apresentado no modelo dela (figura 8). Além dessa aluna, componentes de outros grupos também questionaram a professora sobre o formato da rede³². A professora aproveitou para dizer que os modelos dos grupos 1, 3 e 4, apesar de serem diferentes, representavam uma mesma idéia e que, naquele momento, eles não tinham dados para definir o formato da rede.

Na opinião dos alunos do grupo 1, o modelo apresentado por eles na Atividade 7 consistia de uma modificação no modelo anterior (Atividade 5), em função do aumento de unidades de Na^+Cl^- .

Durante a apresentação do modelo à turma, a professora novamente indagou esses alunos sobre o significado da rede. Eles apresentaram a idéia de que não existia uma atração unitária, mas várias atrações entre os íons de cargas opostas. A professora

³² A palavra rede foi utilizada pela primeira vez pela professora e, posteriormente, por alguns alunos na discussão dos modelos propostos por eles na Atividade 7. A professora começou a utilizar esse termo ao fazer referência aos modelos que demonstravam várias ligações entre os íons.

complementou a explicação, enfocando que o cloreto de sódio não ficava estável simplesmente com uma única atração de íons positivos e negativos, mas com várias, o que justificava os dados de abaixamento de energia apresentados no início da aula.

Após a reformulação ou modificação do modelo, era necessário novamente passar pela fase de testes – o que foi enfatizado pela professora durante a realização da Atividade 8. Além disso, ela recapitulou com os alunos alguns aspectos importantes discutidos na aula anterior, como o significado de modelo em rede.

O teste para o atual modelo consistia, novamente, em explicar o valor elevado da temperatura de fusão do cloreto de sódio. Considerando as dificuldades apresentadas pelos alunos na realização da Atividade 6 e visando ajudá-los na realização da Atividade 8, a professora apresentou duas questões para a turma:

“Quando eu penso em fusão, é a passagem do sólido para o líquido. E o modelo que vocês construíram é para o cloreto de sódio sólido. Bom, quando fundir eu terei o cloreto de sódio líquido. Eu percebi que vocês ficaram muito preocupados em construir o modelo do líquido. Isso é bom. É bom vocês pensarem no modelo do líquido. Só que eu quero que vocês expliquem mesmo, o que muita gente não explicou, é por que a temperatura é assim tão elevada. Por que tem que fornecer muita energia para aquela substância sólida? O que esse tanto de energia faz com a estrutura sólida para que ela chegue a ser aquela estrutura característica do líquido?”

“Antes, quando vocês fizeram isso, vocês só tinham a unidade Na^+Cl^- (mostra o modelo de A2 – figura 6). Agora vocês têm a rede (mostra como exemplo o modelo de A13G4 – figura 9). Agora pensem, isso influencia?”

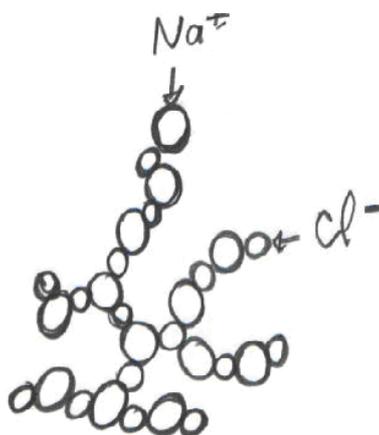


Figura 9. Modelo de A13G4 para o cloreto de sódio sólido.

Os alunos do grupo 1 demonstraram grandes dificuldades nessa atividade. Eles pensaram que o valor de temperatura de fusão para o cloreto de sódio mudava e que havia um valor máximo para ela. O trecho de discussão a seguir ilustra as confusões demonstradas pelos alunos:

A1: *“Ela acha (referindo-se a A2) que pra virar líquido a temperatura pode ser a mesma para essas duas fórmulas (referindo-se ao modelo da rede – figura 8 e ao molecular – figura 6).”*

A1: *“Eu acho que não, eu acho que tem que ser maior para os vários pares.”*

Prof.: *“Mais que 808?”*

A1: *“É.”*

Prof.: *“Não, mas aquele 808 ali é o valor...”*

A2: *“Máximo.”*

Prof.: *“Não. É o valor de temperatura em que o cloreto de sódio funde. Ele só funde naquela temperatura nas mesmas condições. Não é que é um valor máximo. Não é um valor mínimo para o par e máximo para a rede. Aquele é o valor.”*

Prof.: (Mostra o modelo molecular – figura 6). *“Se você tem esse é mais fácil fundir.”*

Prof.: *“E aqui (modelo representado na figura 8) você tem vários. É mais difícil para separar vários. São mais interações entre os átomos e bem mais intensas.”*

Prof.: *“Dá mais trabalho, ou seja, gasta-se mais energia, separar só esse (figura 6) ou todos esses (figura 8)?”*

A3: *“Eu não acho que esse (modelo molecular – figura 6) dá mais trabalho do que esse (modelo em rede – figura 8)”*

Prof.: *“Quantas ligações entre átomos você tem que romper aqui?”*

A3: *“Uma.”*

Prof.: *“Mas entre uma só e várias, o que consome mais energia?”*

A2: *“É esse daqui então (referindo-se à rede – figura 8).”*

Prof.: *“A A2 está mostrando que nesse aqui é mais fácil, mas o que significa isso aqui, o que está rompendo?” (A professora mostra o modelo molecular e faz o gesto de separação das bolinhas.)*

A2: *“Atração.”*

Prof.: *“Uma ligação, atração.”*

Prof.: *“Aqui você tem que romper...”*

A2: *“Várias.”*

Prof.: *“Você disse pra mim que isso aqui não está fechado, que podem ter mais ligações ainda. Então pensa em várias atrações, várias ligações rompidas entre os íons de cargas opostas.”*

No final da aula, quando os alunos apresentaram suas conclusões sobre o teste, disseram que o modelo em rede deveria explicar o valor elevado da temperatura de fusão e de que a energia gasta era para afastar os íons. Porém, eles ainda demonstraram dúvidas sobre a força de atração entre as partículas e estabeleceram muitas confusões relacionadas à energia e tempo para fusão, de forma semelhante à Atividade 6, e ainda consideravam que a rede tinha mais energia do que o par ao invés de pensar que mais energia era necessária para fundir o cloreto de sódio em rede. A resposta desses alunos à questão 1 da Atividade 8 demonstra isso:

“Na temperatura de fusão, as partículas se separam e transformam em líquido. Em uma temperatura de fusão, um par pode demorar menos tempo para passar para o líquido do que a rede, pois a rede são vários pares e tem mais energia e um par tem menos energia e sua temperatura pode ser menor.”

Por isso, a professora interferiu, pedindo que eles pensassem (i) em termos de energia e não de tempo, e (ii) que a energia maior ou menor seria a fornecida pelo aquecimento e não a energia contida nos sistemas representados por cada modelo para o cloreto de sódio. Ela também lembrou aos alunos que, de acordo com os dados empíricos apresentados anteriormente, o cloreto de sódio em rede deveria possuir menor conteúdo energético, por ser o mais estável.

Durante as intervenções da professora, ela questionou o grupo 1 sobre a possibilidade de ainda existirem interações entre os átomos no cloreto de sódio líquido. As alunas A1, A2 e A3 disseram que sim, mas que elas eram mais fracas em comparação com as interações existentes no sólido.

Durante a apresentação do modelo curricular, a professora tentou deixar mais clara a idéia de rede de forma a distingui-la de atrações entre moléculas de NaCl, pois alguns alunos ainda poderiam ter a idéia de rede de forma semelhante a atrações entre unidades Na^+Cl^- do tipo dipolo-dipolo, apesar de eles terem ressaltado que eram atrações entre átomos. Isso foi feito no sentido de realçar que todas as ligações eram entre os íons, que se estabilizam através de um certo número de ligações e que, no caso do cloreto de sódio, esse número era de seis ligações para cada íon.

Na avaliação da estratégia de ensino (Atividade 9) apenas A3 e A4 estiveram presentes. A3 reconheceu que gostou de ter aprendido ligação iônica através da formulação e reformulação de modelos apesar de ter sido mais difícil, pois exigiu muito pensamento e criatividade. Para ela, o mais complexo foi ter que explicar o raciocínio para outros e expressar seus pensamentos em forma escrita. Nesse momento, a professora lhe disse que modelos eram úteis para simplificação de idéias e que, por isso, ajudavam a expressá-las. A3 reconheceu a importância do trabalho em grupo na troca de idéias e disse que o mesmo ocorre com os cientistas.

Os alunos do grupo 1 estiveram presentes na maioria das aulas da estratégia. As alunas A1, A2 e A3 mostraram-se bem engajadas durante todo o processo de ensino. As alunas A1 e A2 perguntavam e dialogavam com a professora com maior frequência, mesmo antes do processo de modelagem. A3 não dialogou constantemente com a professora mas, mesmo assim, ela participou ativamente do processo, discutindo com os outros componentes do grupo. Finalmente, A4, apesar da presença, dialogava pouco com os componentes do grupo, mostrando-se menos ativa no processo, bem como durante todo o ano letivo (não só em química, mas em várias disciplinas).

Na análise da avaliação de aprendizagem realizada pelos alunos desse grupo verificou-se que:

- a respeito do que seria a ligação iônica e de como uma substância iônica é formada, A1, A2 e A3 apresentaram idéias sobre atração entre íons de carga oposta formando uma rede;
- A1, A2 e A3 expressaram um modelo que demonstrou conhecimento sobre ligação iônica enfatizando partículas próximas e organizadas para a substância iônica no estado sólido;
- apenas A1 afirmou haver atração eletrostática nas substâncias iônicas nos estados sólido e líquido. A2 e A3 reconheceram a existência dessa atração apenas no estado sólido;
- em relação às associações feitas pelos alunos entre energia e mudança de estado físico, A1 e A2 associaram a alta temperatura de fusão à força da ligação iônica (interatômica). Por outro lado, A3 não demonstrou conhecimentos sobre mudança de estado físico em relação a qualquer aspecto da ligação iônica;

- a aluna A4 não demonstrou nenhum conhecimento sobre ligação iônica, pois em sua avaliação as idéias apresentadas estavam totalmente incompreensíveis.

2.2. Análise do Estudo de Caso

A análise do estudo de caso do processo de aprendizagem vivenciado por esse grupo possibilitou identificar idéias gerais sobre modelos e visão de ciências, o que foi importante para perceber se tais idéias influenciaram no processo de modelagem para ligação iônica, como será comentado no decorrer da análise.

Com base nos aspectos comentados no estudo de caso em relação à Atividade 1 e às discussões provenientes dela, pode-se inferir que A1 apresentava a idéia de modelo como representação parcial da realidade por tê-la aplicado coerentemente a todos os sistemas apresentados pela professora. Além disso, A1 reconheceu a existência de múltiplos modelos para um mesmo fenômeno (dissolução) ou entidade (água), mas não explicitou que isso ocorre por tais modelos enfatizarem atributos distintos ou por haver diferentes objetivos ao construí-los. Ela também não pensou em um critério objetivo ao afirmar que o modelo que representava as partículas da mistura do permanganato de potássio em água era um modelo melhor do que representação do aspecto macroscópico da mistura.

A2 apresentou duas idéias distintas sobre modelos. Uma relativa ao fato de modelos serem representações parciais, que existem na mente ou de forma concreta, de entidades físicas ou abstratas. Para ela, eles são úteis por facilitar o entendimento, auxiliar na previsão. Ela também enfatizou que os modelos apresentam limitações. Ela aplicou essas idéias a alguns sistemas apresentados pela professora (mapa, fórmula, gráfico). A outra idéia apresentada por ela é a de modelo ser representação em miniatura (ao justificar o fato de carro ser modelo). Ela também apresentou confusão entre modelo e realidade, aplicou idéias cotidianas sobre modelos para classificação dos sistemas e não utilizou o critério objetivo para se atribuir o fato de um modelo ser melhor do que outro. A concepção cotidiana de modelo em escala foi novamente demonstrada por A2 na Atividade 2, quando afirmou acreditar na possibilidade de se enxergar os átomos com microscópios potentes (o que, possivelmente, indica que ela pensava que os modelos para os átomos são réplicas reduzidas).

A3 demonstrou idéias distintas sobre modelos: cópia da realidade e representação, que foi utilizada na classificação de certos sistemas da Atividade 1.

A1 teve mais coerência com seu conceito de modelo (representação parcial) e o usou mais criteriosamente do que A2 e A3, que por sua vez, apresentaram e aplicaram, dependendo da conveniência, idéias mistas sobre modelos (possivelmente, por utilizarem indistintamente a concepção de modelo utilizada na ciência e a empregada cotidianamente).

Através dos dados não é possível se fazer uma análise das idéias de A4 sobre modelos, pois a mesma não apresentou uma definição para modelo na questão 2, o que inviabilizou um julgamento de suas classificações dos sistemas como modelos ou não, além de não justificar cada uma das classificações de maneira clara.

A análise da Atividade 2 favoreceu a caracterização de poucas idéias dos alunos sobre os principais passos para a confecção de modelos, pois eles descreveram o que haviam feito ao investigar o objeto contido na caixa (observar o som, sentir o peso etc.) e não a formulação de modelos no geral. Esse grupo afirmou que os modelos podem ser aprimorados, sem evidenciar claramente o motivo (estar errados, serem obtidos novos dados, não passar por testes). Eles também enfatizaram a necessidade de observação para a elaboração de modelos, sendo que, para eles, isso era uma semelhança entre a investigação efetuada por eles com o trabalho realizado pelos cientistas. De acordo com as impressões da professora, para o grupo, observações poderiam estar relacionadas a uma fonte direta de obtenção de conhecimento, ou seja, eles não distinguiam claramente observação de inferência – concepção espontânea sobre natureza da ciência freqüentemente apresentada por alunos (Lederman et al., 2002).

A2 se referiu aos cientistas como 'gênios', uma concepção freqüente do senso comum. Talvez isto esteja relacionado ao fato de ela pensar que a construção de conhecimentos depende da inteligência do cientista, e não de um processo de investigação que requer imaginação, criatividade, observação, inferência aliados aos conhecimentos anteriores na busca de soluções para problemas empíricos e/ou teóricos.

O fator casualidade, tido como semelhante entre o trabalho do grupo e dos cientistas, se refere à idéia de ser possível 'descobrir algo' através de 'chutes'. Tais concepções podem advir do senso comum (descoberta por acaso).

Na avaliação do processo de ensino (Atividade 9), não obtivemos dados relativos à noção de modelagem de todos os alunos do grupo. A única idéia diferente do

que havia sido expresso na Atividade 2 a que tivemos acesso foi o comentário expresso por A3 de que os cientistas interagem com seus pares na construção do conhecimento, de forma análoga ao ocorrido nas investigações em grupo nas atividades de modelagem e da necessidade de muito raciocínio e criatividade na proposição de modelos.

Através de uma análise do estudo de caso do processo de ensino vivenciado por esse grupo, com foco nas Atividades 3, 4, 5, 6, 7 e 8, foi possível identificar como alguns elementos contribuíram para a aprendizagem do tema ligação química por esses alunos.

Um desses elementos são os as evidências empíricas fornecidas nas atividades. As evidências experimentais fornecidas na Atividade 3 estimularam os alunos a buscar conhecimentos prévios ou idéias cotidianas para explicar a origem da luz liberada, a transformação química do magnésio e a estabilidade do óxido de magnésio. Eles afirmaram que a transformação era química (reação de combustão, que ocorre na presença de O_2 e com aquecimento), mas não relacionaram isso com quebra ou formação de ligações e com a energia liberada, portanto, um conhecimento declarativo. Além disso, utilizaram explicações de cunho substancialista (*"Mg é uma substância inflamável, por isso libera luz"*), ou seja, considerando que as substâncias pudessem 'conter energia' e liberá-la, sem relacionar tal processo ao rearranjo dos átomos (Souza, 2007). Esses alunos apresentaram, ainda, explicações com o pensamento focado no nível macroscópico da matéria (MgO é mais estável porque não sofre alterações macroscópicas ao ser aquecido). Essas duas últimas explicações são muito usuais no senso comum.

Como sabíamos que esses alunos não haviam estudado reação química naquele ano letivo, esperávamos que as evidências experimentais favorecessem a expressão de suas idéias prévias e concepções alternativas. As evidências também favoreceram a inserção de novas idéias, como menor conteúdo energético relacionado à maior estabilidade da substância ao se verificar a liberação de luz (de intensidade diferente da chama) devido à ocorrência da reação.

O experimento mental proposto na primeira questão da Atividade 5 (dissolução do sal de cozinha em água) foi importante para a proposição de um modelo que evidenciou as idéias prévias dos estudantes sobre as partículas constituintes do sal e da água. O modelo daí resultante demonstrou a idéia de cloro presente na forma de outra espécie, diferentemente do íon Cl^- , possivelmente uma idéia advinda do cotidiano. O

experimento mental proposto na segunda questão da Atividade 5 (como ficam as partículas constituintes do sal após evaporação da água) foi um facilitador na proposição do primeiro modelo para ligação iônica ('NaCl molécula' – figura 3), explicitando o conhecimento tácito³³ sobre atração entre cargas opostas, que foi inferido através do diálogo, apresentado no estudo de caso, entre a professora e o grupo ao justificar o modelo.

A elaboração desses dois modelos foi facilitada pelo fato de os experimentos mentais terem se baseado em situações cotidianas. Isso foi percebido através da observação da desenvoltura com o qual os alunos desse grupo trabalham na Atividade 5, em comparação à Atividade 4. Além disso, a partir dos experimentos mentais foi possível discutir sobre a estabilidade do NaCl em relação a seus íons constituintes. Nesse caso, a professora lhes questionou sobre a estabilidade do NaCl caso fosse colocada água no sistema e os íons se separassem. Esse questionamento os deixou sem respostas, evidenciando que eles não haviam estabelecido relações entre os aspectos discutidos nas Atividades 3 e 5.

Durante a Atividade 5 foi possível perceber que os alunos continuaram apresentando concepções errôneas sobre substância e mistura e sobre energia de ionização, mesmo após a discussão desses conceitos nas Atividades 3 e 4, respectivamente. Por isso, tais conceitos foram novamente discutidos nesta Atividade.

Os dados empíricos fornecidos na Atividade 7 foram de grande relevância para a reformulação do modelo 'NaCl molécula' construído na Atividade 5 em um modelo NaCl em rede (figura 8). Além disso, tais dados tornaram a discussão da Atividade 3 mais significativa ao favorecer o estabelecimento da relação entre maior valor de energia liberada com estabilidade da substância em uma organização com maior número de íons.

O dado empírico fornecido nas Atividades 6 e 8 foi importante por introduzir uma das propriedades dos compostos iônicos, por favorecer a construção de modelos para o cloreto de sódio líquido (mesmo não sendo esta a intenção ao se fornecer esse dado nessas atividades) e por possibilitar a confirmação do modelo em rede proposto na Atividade 7.

³³ Esses alunos não demonstraram claramente um conhecimento sobre força eletrostática, porém utilizaram um conhecimento inerente de que cargas opostas têm tendência natural a se atrair.

O não entendimento do grupo, na Atividade 6, de que o modelo a ser reformulado deveria ser o do cloreto de sódio sólido pode evidenciar que tais alunos não tinham clara a idéia de objetivo na construção de modelos e de reformulação de modelos por meio de um teste. Vale ressaltar que esses alunos, na Atividade 1, não pensaram no atributo objetivo para construção de modelos, e, na Atividade 2, não enfatizaram a possibilidade de um modelo poder ser reformulado por não passar na fase de testes. Portanto, a desenvoltura do grupo na Atividade 6, no sentido de construir um modelo retratando como imaginavam ser o sistema final após o fornecimento de energia, e não de reformular o modelo para o cloreto de sódio por meio do teste, pode ser um indício de que as idéias iniciais sobre modelos e modelagem influenciaram no desenvolvimento das atividades.

A Atividade 8 foi importante por oferecer ao grupo uma nova oportunidade para o entendimento da relação entre energia e estabilidade, visto que alguns componentes desse grupo ainda apresentavam dúvidas sobre essa relação, mesmo após a discussão na Atividade 7.

As idéias prévias do grupo foram elementos importantes no processo de modelagem. Alguns exemplos são: (i) a idéia inicial do grupo 1 sobre distribuição eletrônica, essencial para a proposição de explicações precursoras sobre formação de íons, como, por exemplo, o fato de átomos neutros de sódio originarem íons com carga +1 poder ser compreendido através da propriedade periódica energia de ionização – aspecto importante para a compreensão de ligação iônica; (ii) o conhecimento prévio sobre o modelo de partículas auxiliou na proposição dos modelos 'NaCl molécula' e NaCl em rede, (iii) o conhecimento prévio da fórmula química do cloreto de sódio pode ter contribuído para a proposição de 'NaCl molécula'. Esse modelo pode ser indício do não conhecimento do conceito de substância – visto que eles representaram uma única 'molécula de NaCl'; (iv) a idéia de modelo em rede, desenvolvida na Atividade 7, que contribuiu para a explicação da elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio na Atividade 8.

As idéias de outros grupos também contribuíram significativamente no processo de aprendizagem. Por exemplo, o grupo 4 colaborou significativamente com o grupo 1 durante a socialização das respostas da Atividade 4 ao relacionar energia de ionização com força eletrostática.

Os questionamentos, sugestões e intervenções da professora foram essenciais no processo de aprendizagem desses alunos. Isso porque eles: (i) exigiram dos alunos respostas mais completas ao invés de respostas fundamentadas apenas na utilização de regras (como, por exemplo, ao explorar mais detalhadamente a relação entre energia de ionização e a formação de íons); (ii) forneceram elementos que focaram o pensamento dos alunos em alguns aspectos (como, por exemplo, quando eles foram solicitados a pensar nas cargas envolvidas na formação do cloreto de sódio – após apresentação de 'NaCl em rede' – e no processo de fusão – após a apresentação do modelo para NaCl líquido); (iii) favoreceram a resolução de conflitos no grupo (como, por exemplo, na Atividade 8, quando os alunos estavam em dúvida sobre qual modelo – em rede ou em par – explicaria o valor da temperatura de fusão do cloreto de sódio).

A apresentação dos modelos e socialização dos mesmos também podem ser considerados elementos da estratégia de ensino importantes para a aprendizagem dos alunos. Por exemplo, quando o grupo apresentou a explicação para a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio, a professora tomou conhecimento das confusões estabelecidas pelos alunos relativas à energia da rede iônica e à força de atração entre as partículas. Ademais, tais elementos possibilitaram explorar idéias centrais do tema, uma vez que após a apresentação dos grupos sempre ocorria uma discussão geral enfatizando as características importantes de cada modelo e acrescentando aspectos não enfatizados pelos alunos anteriormente. Isto pode ser observado, por exemplo, na discussão após apresentação dos modelos em rede, sobre a estabilidade do cloreto de sódio em relação aos íons.

Por fim, a expressão dos modelos em forma verbal e concreta também deve ser destacada como um elemento que contribuiu para o processo de aprendizagem dos alunos deste grupo. Isso porque os modos verbal e concreto foram formas complementares de comunicação que também ajudaram a professora a perceber a adequação ou não de idéias presentes em um modelo. Por exemplo, A1 demonstrou a idéia de mistura heterogênea no desenho da primeira questão da Atividade 5 (figura 1) e escreveu em sua atividade que o sistema era uma mistura homogênea. A expressão dos modelos nessas duas formas também permitiu à professora questionar alguns aspectos implícitos em uma delas e não na outra. Por exemplo, quando construíram o modelo para o cloreto de sódio líquido na Atividade 6, os alunos deste grupo demonstraram a idéia de afastamento dos íons com o fornecimento de energia e a não conservação de

matéria na mudança de estado. Provavelmente a professora não teria percebido certas incoerências, caso eles não tivessem construído o modelo concreto e realizado a simulação da mudança de estado físico utilizando esse modelo.

Outros fatores importantes da expressão de modelos na forma concreta foram (i) a possibilidade de visualização de entidades abstratas, quando os alunos questionaram a professora sobre o formato da rede e (ii) a facilitação do entendimento, quando a professora questionou se modelos em par ou em rede explicariam o valor elevado da temperatura de fusão do cloreto de sódio, através da manipulação dos modelos concretos enfatizando as 'quebras' de ligações.

Apenas A3 e A4 estiveram presentes na aula de avaliação do processo de ensino (Atividade 9). A3 reconheceu explicitamente que foi mais difícil ter que pensar e repensar, mas que aprendeu mais dessa forma e que o trabalho em grupo havia colaborado nisso. A partir de falas não registradas em áudio, mas observadas pela professora durante o processo de ensino, e de conversas entre componentes do grupo com a professora fora de sala de aula é possível dizer que A1 e A2 compartilhavam as mesmas idéias de A3 referentes ao ensino por modelagem.

Ao final do processo, foi possível observar que maioria das alunas do grupo 1 (A1, A2 e A3) apresentou características coerentes do modelo de ligação iônica discutido na atividade final. Isso é compatível com o desempenho dessas alunas nas atividades de modelagem, pois elas se engajaram cognitivamente e participaram ativamente em todas as aulas às quais estiveram presentes.

Uma evolução das idéias de A1 ao longo do processo de ensino pode explicar o fato de ela ter demonstrado várias idéias coerentes sobre ligação iônica na avaliação. As idéias sobre estabilidade relacionadas à não ocorrência de alterações visuais de um sistema, utilizadas por essa aluna nas Atividades 3 e 5, foram modificadas através dos dados fornecidos na Atividade 7. Isso foi observado através da proposição de um modelo em rede (conhecimento mais coerente sobre força eletrostática em relação ao demonstrado na Atividade 5) e do entendimento de que a substância cloreto de sódio era mais estável quando organizada em rede em relação ao par (Atividade 8). Nessa última atividade, apenas A1 demonstrou conhecimento, desde o início das discussões, de que o cloreto de sódio organizado em rede requereria alta energia para fusão, sendo assim mais estável do que o par iônico. Nas Atividades 6 e 8, A1 apresentou dúvidas sobre tempo e energia. Essa confusão não foi verificada na avaliação da aluna. Portanto, a

discussão ocorrida na Atividade 8 foi essencial para que ficasse claro para ela que as ligações no cloreto de sódio eram muito fortes, o que requereria alta energia para fusão, sendo que isso não dependeria do tempo de exposição a uma fonte que não fornecesse energia para que a substância atingisse a temperatura de 808°C. Portanto, no decorrer das atividades, A1 conseguiu modificar ou reelaborar algumas idéias e adquirir conhecimentos de aspectos centrais de ligação iônica (modelo em rede, explicação para a elevada temperatura de fusão de substâncias iônicas, modelo do cloreto de sódio líquido) que foram demonstrados na avaliação de conteúdo.

Ao longo do processo de ensino, A1 utilizou a idéia de modelo como representação, quando, por exemplo, o grupo afirmou que as bolinhas representavam o átomo de acordo com o modelo de Dalton e por durante as confecções dos modelos não se preocuparam excessivamente com os atributos concretos. Na Atividade 1, A1 havia sido capaz de conceber a existência de múltiplos modelos para um mesmo sistema, o que, possivelmente influenciou o grupo na construção de modelos na Atividade 5 (modelos enfocando aspectos macroscópicos e sub-microscópicos do cloreto de sódio dissolvido em água). Além disso, a compreensão de A1 sobre modelos pode ter sido ampliada através da estratégia de ensino, pois ela utilizou modelos com função de visualização e explicação, nas discussões sobre o formato da rede iônica na Atividade 7 e da quebra de ligações do par iônico ou rede iônica na Atividade 8. Finalmente, a expressão e utilização dessas idéias evidencia que o uso de múltiplos modelos dependendo dos objetivos na discussão do modelo consensual ficou mais claro para esta aluna.

Ao longo do processo de ensino, A2 modificou algumas de suas idéias iniciais em direção às idéias científicas, por exemplo, ao demonstrar entendimento de que o cloreto de sódio era mais estável quando organizado em rede do que em par iônico (Atividade 8), visto que inicialmente demonstrava a idéia de estabilidade relacionada à não alteração macroscópica (Atividades 3 e 5). Esses conhecimentos conduziram a aluna a apresentar um modelo em rede e explicar corretamente a elevada temperatura de fusão para substâncias iônicas na avaliação final. O fato de ela ter conseguido estabelecer os relacionamentos entre energia e estabilidade pode ser um indício de que a visão substancialista de energia (Atividade 3) pode ter sido amenizada, visto que o abaixamento de energia na formação de uma substância foi relacionado à formação de íons e atração dos mesmos, o que pode influenciar em um conhecimento mais

significativo sobre energia associada a processos. O fato de essa aluna não ter conseguido explicar como seriam as interações do cloreto de sódio a 1000°C (forma líquida) pode estar relacionado ao entendimento superficial de força coulombiana. Consideramos que ela tenha apresentado tal conhecimento de forma tácita na Atividade 5 (ao utilizar uma analogia de cunho animista “*eles se amam*” fazendo referência ao fato de as cargas tenderem a se atrair, ficando juntas) e que ela tenha tido oportunidades de compreendê-lo melhor nas Atividades 7 e 8 (mesmo não tendo ficado clara a relação de dependência da força coulombiana com a distância entre os íons).

Apesar de A2 ter demonstrado visões de modelo (Atividades 1 e 2) relacionadas à concepções cotidianas (cópia da realidade) não foi verificado, ao longo do processo de ensino, a aplicação de tal concepção nas proposições e justificativas dos modelos. A aluna aplicou a idéia de modelo como representação em todas as atividades, por focar as idéias e não os atributos físicos do modelo e pelo grupo ressaltar o uso de materiais concretos (bolinhas e massinha) como representações para o átomo de acordo com o modelo de Dalton, levando em consideração o tamanho dos íons. A presença de A1 no grupo pode ter contribuído para o uso de modelo como representação, visto que essa aluna aplicou esse conceito de forma coerente na Atividade 1. Através das atividades de modelagem, as idéias de modelo da aluna podem ter sido ampliadas, devido aos questionamentos sobre formato da rede e quebra de ligações interatômicas, o que pode conduzir ao conhecimento das utilidades de modelo – visualização de entidades abstratas e facilitar o entendimento.

A3 apresentou um modelo em rede em sua avaliação, desenhando-o e explicando-o de forma coerente. A aluna não foi capaz de demonstrar um conhecimento mais elaborado sobre força coulombiana nas questões relativas ao uso do modelo para explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio e sobre a interação entre os íons constituintes dessa substância a 1000°C. Isso porque a aluna explicou a mudança de fase do cloreto de sódio utilizando o modelo de partículas. Sendo assim, ela não incorporou ao modelo de partículas as discussões sobre a força da ligação iônica ocorridas na Atividade 8. Além disso, o relacionamento entre força eletrostática e distância entre cargas pode não ter ficado claro para ela. A3 apresentou, assim como A2, dúvidas sobre modelo em rede ou em par explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio na Atividade 8, apesar de essa propriedade ter sido discutida nesta Atividade. Entretanto, a professora percebeu que ainda persistiam algumas confusões

relacionadas à necessidade de muita energia para fusão e liberação de maior quantidade de energia na formação de rede iônica. Outra possível explicação é o fato de a aluna ter tido dificuldade em expressar-se na avaliação, visto que a mesma se referiu às dificuldades de expressar suas idéias na forma escrita (Atividade 9).

Apesar de A3 ter apresentado concepções cotidianas sobre modelo na Atividade 1 (réplica reduzida) não as utilizou durante a elaboração e justificativa dos modelos, empregando as idéias de representação, em concordância com os outros componentes do grupo, como apresentado anteriormente. A idéia de múltiplos modelos para um mesmo sistema pode ter sido compreendida pela aluna durante a estratégia de ensino, devido ao fato de ela perceber que o importante não era 'acertar' o modelo, mas ser coerente com os dados fornecidos. O uso de modelos para facilitar a comunicação e auxiliar na visualização podem não ter ficado claro para a aluna, pois apesar de o grupo tê-los usado visando esses fins, ela não foi capaz de utilizá-los com essas funções na avaliação, o que poderia ter facilitado sua elaboração de uma explicação para a temperatura de fusão.

A4, apesar de estar presente em maioria das aulas, participava pouco, o que pode ser uma causa de seu baixo desempenho na avaliação final.

3. GRUPO 2

3.1. Estudo de Caso

Na realização da Atividade 1 (características de modelos), inicialmente, apenas A7 e A8 estavam presentes. Eles participaram pouco das discussões iniciais em comparação aos outros grupos.

Durante a discussão da atividade, esse grupo participou mais da aula, principalmente, porque A6 estava presente. A7 demonstrou a idéia de que modelo servia para representar algo em tamanho reduzido, idéia utilizada para justificar porque o globo terrestre apresentado na tirinha era um modelo. A6 e A8 concordavam com a idéia de que modelos serviam para representar algo, sem se referir à escala, com o intuito de evidenciar algum aspecto. Eles disseram que modelos facilitavam o

entendimento. A6 salientou também que um modelo “*não precisa ser apenas concreto e nem representar somente coisas visíveis*”.

Em relação ao carrinho de brinquedo apresentado pela professora, todos os componentes do grupo afirmaram que se tratava de um modelo, por ser uma representação em miniatura.

Para eles, a molécula de água em bolas e varetas, a fórmula química da água, o desenho enfatizando as partículas para dissolução do permanganato de potássio em água e o mapa eram modelos por serem formas de representação.

Para os componentes desse grupo, a dissolução de permanganato de potássio em água não era modelo, visto que era o próprio fenômeno. Além disso, a representação evidenciando mistura homogênea, o gráfico e a fórmula não eram modelos, porém eles não apresentaram uma justificativa plausível. Durante a discussão, a professora chamou atenção deles para o fato de o desenho evidenciando mistura homogênea ser um modelo, por ser outra maneira de representar o sistema (permanganato de potássio em água) enfocando outros atributos. Ela também disse que o gráfico e a fórmula eram modelos porque eram representações gráfica e matemática, respectivamente, de um tipo de movimento, úteis para se fazer previsões.

Na Atividade 2, ao propor um modelo para o objeto contido na caixa, o grupo observou o som, o peso, o movimento e verificou se o objeto era ou não atraído por um ímã. Para eles, parecia ser claro o fato de não terem que adivinhar o que estava na caixa, mas de terem que ser coerentes com suas investigações, o que ficou explícito na apresentação de suas conclusões para a turma.

Para eles, a atividade que haviam feito e o trabalho dos cientistas se assemelhavam em um ponto: a observação. Eles afirmaram que a ciência é construída com base na experimentação prática. A8 disse que para ele os cientistas “*descobrem coisas acidentalmente*”, enquanto A6 afirmou que os cientistas são muito mais inteligentes e que, por isso, havia diferenças no processo de elaboração de modelos vivido por eles e por cientistas. Apesar disso, eles afirmaram ter compreendido o motivo da não abertura da caixa quando a professora comentou sobre as incertezas dos cientistas ao propor modelos e sobre as modificações das teorias científicas.

Apenas os alunos A6 e A7 estavam presentes na primeira aula referente à realização da Atividade 3. Durante essa aula, esses alunos se empenharam, discutindo entre eles e com a professora, na tentativa de encontrar respostas às questões propostas na atividade. Porém, na segunda aula dessa atividade, apenas A7 esteve presente, apresentando-se menos engajado na realização da mesma.

Ao refletirem acerca da solicitação da questão 1 (o que indica o aparecimento de luz ao aquecer o magnésio), A6 e A7 pediram o auxílio da professora:

Prof.: *“Quando você aquece o magnésio e libera aquela luz intensa, o que será que ela quer dizer para você? Será que está acontecendo alguma mudança com o magnésio?”*

A6: *“Ele está fundindo.”*

Prof.: *“Isso quer dizer que ele está virando aquele pozinho branco. E o que é esse pó?”*

A6: *“Óxido de magnésio”.*

Prof.: *“Mas isso é fusão?”*

A6: (Balança a cabeça discordando).

Prof.: *“Então o que a luz significa?”*

A6: *“Transformação.”*

Prof.: (Dirigindo-se a A7) *“O que você acha? Que a luz é evidência de algo transformando em outra coisa?”*

A7: *“Não sei.”*

Prof.: *“Luz é o que?”*

Prof.: *“Calor, energia...?”*

A6: *“É energia.”*

Prof.: *“Que energia é essa então?”*

A7: *“Oxigênio, carbono, sei lá.”*

Prof.: *“Vocês têm a idéia de A6, de transformação?”*

A7: *“É isso aí, é magnésio transformando em óxido de magnésio. Vou colocar isso mesmo.”*

A professora, visando checar se A7 também compartilhava as idéias de A6, questionou-lhe e percebeu que sua suposição não se confirmava, pois A7 concordou com as idéias de A6 sobre a transformação química e sobre o fato de a luz liberada ser uma energia liberada sem, de fato, compreendê-las. Essa não compreensão ficou evidenciada mais adiante, no momento da socialização das respostas (segunda aula dessa atividade, na

qual A6 não estava presente) quando A7 respondeu a essa questão dizendo que *“a luz indica uma energia que passou do magnésio para o óxido de magnésio”*. Ele continuou apresentando a idéia de que a luz evidencia transformação e de que ela é energia. Porém, não demonstrou que a luz era algo liberado ao se formar o óxido de magnésio, tornando-o menos energético. Nesse momento, a professora chamou atenção dele e dos demais alunos da classe:

“... essa luz vem da combinação do magnésio com o oxigênio. (...) a luz é um tipo de energia que foi liberada e ela é diferente da chama, e ela é evidência de transformação, de união do magnésio com oxigênio para formar o óxido”.

Em relação à questão 2 (explicar a formação do óxido), A7 demonstrou a idéia de que era necessário ocorrer *“a queima do magnésio para ele formar óxido de magnésio”*. Durante a socialização das respostas, a professora procurou entender o significado de ‘queima’ para A7. Nesse momento, ele disse que concordava com os alunos de outros grupos, que já haviam exposto suas respostas anteriormente, sobre a queima se relacionar a aquecimento e presença de oxigênio. Para que a necessidade de aquecimento (fonte de energia) fosse melhor compreendida pelos alunos, a professora ressaltou que a transformação não ocorreria sem a presença de alguma forma de energia.

Sobre a questão 3 (necessidade de fogo na transformação), A7 apresentou a idéia de que o fogo era necessário porque *“o fogo fabrica calor”*. Por outro lado, sobre a ocorrência da transformação nas máquinas fotográficas antigas (questão 4), A7 respondeu que *“não depende do calor (fogo) e sim da energia”*. Percebendo essas concepções alternativas, no momento da socialização das respostas, a professora questionou A7:

Prof.: *“Por que não depende do calor e sim da energia? No caso aí calor é diferente de energia?”*

A7: *“É.”*

Prof.: *“E o que é calor?”*

A7: *“Ah, calor, fogo...”*

Prof.: *“Fogo é energia?”*

A7: *“Ah, não sei.”*

Nesse momento a professora sentiu a necessidade de discutir as diferenças entre os termos calor, energia e temperatura³⁴. Ela utilizou alguns exemplos cotidianos sobre transferência de calor até atingir a situação de equilíbrio térmico e lhes informou que quando dois corpos apresentam temperaturas diferentes ocorre transferência de calor até que eles igualem suas temperaturas. Além disso, enfatizou que nesse processo de transferência de energia, a única forma existente é o calor. Ela também destacou que a temperatura estaria relacionada com o grau de agitação das partículas (dilatação de um líquido, por exemplo) que, por sua vez, se relaciona à energia cinética das partículas. Por isso, o que é medido é a temperatura de um corpo e não sua quantidade de calor ou frio. Finalmente, ela destacou que para se atingir determinada temperatura é necessário ganhar ou perder energia do sistema para a vizinhança. Com isso, ela tentou deixar claro para A7 (e outros alunos) que o que favorecia a transformação era algum tipo de energia, seja o aquecimento da chama ou aquela proveniente de pilhas da máquina fotográfica, como ressaltado por A1G1.

Com relação à questão 5 (substância mais estável, Mg ou MgO), A6 pediu auxílio à professora:

A6: *“Dúvida na questão 5. Como comparar a estabilidade dos dois sistemas?”*

Prof.: *“Quando eu aqueci o magnésio ele se transformou em óxido de magnésio e quando eu aqueci o óxido de magnésio ele transformou em outra coisa? Nisso, quando houve liberação de luz?”*

Prof.: *“Com base nisso (evidência experimental) dá para você dizer quem é o mais estável?”*

Prof.: *“Você entendeu A7?”*

A7: *“Com base nisso é o óxido.”*

Prof.: *“Por quê?”*

A6/A7: *“Porque não houve alteração.”*

Prof.: *“É importante também o fato do óxido de magnésio não ter liberado luz e o magnésio ter liberado?”*

A7: *“Não. Como assim?”*

Prof.: *“Será que isso, liberar luz, energia, ajuda a falar sobre ser estável?”*

A7: *“Acho que sim.”*

³⁴ Parecia que esses alunos não sabiam das distinções entre esses termos (calor, temperatura e energia) para a ciência. Nas disciplinas química e física nada havia sido comentado sobre isso anteriormente à aplicação dessa estratégia de ensino.

Prof.: *“Pensa nisso. Por que sim?”*

Analisando esse diálogo é possível perceber que, ao fazer perguntas cuja resposta se relacionava com a energia liberada, a professora tentou focar o pensamento dos alunos sobre estabilidade, na evidência experimental. Apesar dessa tentativa, no momento de socialização das respostas, A7 respondeu que *“o magnésio transforma, quando é queimado, em óxido de magnésio e ele não altera mesmo quando é queimado”*, ou seja, que o MgO não reage mesmo sendo aquecido.

Na parte B da Atividade 3 (formação e manutenção das substâncias), A6 apresentou confusões sobre os conceitos de mistura e substância. Para ele, ouro comercial era um tipo de substância composta, devido a adição de cobre e FeO era uma mistura de átomos de Fe e O. Ao perceber as confusões deste aluno sobre esses conceitos, a professora fez uma distinção entre substância composta e mistura.

Na aula referente à Atividade 4, apenas A5 e A8 estiveram presentes. Após lerem as solicitações das questões, esses alunos pediram o auxílio da professora, afirmando que não estavam compreendendo o que as questões perguntavam. Ao auxiliá-los, a professora apresentou outras questões visando ajudá-los a pensar na resposta à questão 1 (modelo para formação de íons). Ao fazer isso, ela percebeu que eles apresentavam concepções errôneas sobre energia de ionização, como evidenciado pelo diálogo:

Prof.: *“Para formar íons positivos, você concorda comigo que ele perde elétrons? Então é mais fácil ele perder elétrons com energia de ionização alta, tipo 24,5 eV ou baixa?”*

(Tempo para os alunos pensarem).

Prof.: *“Eu quero que você pense o seguinte: para você formar um íon positivo tem que perder elétron então é mais fácil perder elétrons com energia de ionização mais alta ou mais baixa?”*

A8: *“Mais alta.”*

Posteriormente, esses alunos concluíram incorretamente quais seriam os íons formados a partir de átomos de sódio e cloro neutros:

A8: *“O Na fica Na⁻ porque o menos quer dizer que você ganha.”*

Prof.: *“O sinal menos indica ganho, mas aqui (se referiu a distribuição em níveis de energia feita pelo aluno) você está mostrando que ele vai perder um elétron. Então é positivo.”*

(Tempo para o aluno pensar).

A8: “*Então aqui fica -7 (se referindo ao íon cloreto) porque ele vai perder 7 (se referindo a elétrons).*”

Prof.: “*Ele irá perder 7 elétrons? Por quê?*”

A professora pediu, então, que eles (i) pensassem novamente em termos de distribuição em níveis de energia após ter esclarecido, mais uma vez, que o sinal negativo no íon indicava ganho de elétrons, e que o sinal positivo no íon indicava perda de elétrons; e (ii) tentassem chegar a uma conclusão sobre o íon formado após analisarem a tabela de energia de ionização, observando quais elementos químicos apresentavam valores muito altos ou muito baixos para essa propriedade, relacionando isso à força de atração núcleo-elétrons.

Durante a socialização das respostas de cada grupo, A8 perguntou à professora se era necessário fazer um modelo para responder a questão. A idéia dele era a de que um modelo seria um desenho ou esquema e, portanto, o que ele tinha feito (explicação escrita) não deveria ser um modelo. A professora, então, lhe informou que a explicação escrita ou verbal também era um modelo.

No momento da socialização das respostas, a professora pediu a A8 que respondesse a questão 1 (modelo para formação de íons):

“Um átomo que tem menor energia de ionização tem maior tendência a perder elétrons, porque assim ele se torna um íon positivo. Já o átomo que tem energia de ionização alta, é bem mais fácil ele ganhar elétrons se tornando um íon negativo.”

Esta resposta evidencia que o aluno conseguiu relacionar valores altos de energia de ionização com formação de ânions e valores baixos com formação de cátions, mas não com força de atração coulombiana. Esse último relacionamento foi feito pela professora.

Ainda durante a socialização das respostas, A8 respondeu que o íon mais estável formado a partir do átomo de sódio neutro (questão 2) era Na^+ . Ele justificou sua resposta em termos de distribuição eletrônica e de primeira energia de ionização baixa. Em relação à questão 3 (íon mais estável formado a partir de cloro neutro), A8 respondeu que seria Cl^- e justificou sua resposta em termos de distribuição eletrônica e do fato de a primeira energia de ionização ser alta.

Na primeira aula referente à Atividade 5 (como os íons interagem), apenas A5 e A8 estavam presentes. Durante essa aula, eles pensaram em um modelo (figura 10) para a dissolução do sal de cozinha em água.



Figura 10. Modelo dos alunos A5 e A8 para dissolução do sal de cozinha em água.

Esses alunos representaram moléculas de água na parte superior e o sal na parte inferior do recipiente. O sal foi representado através da interação entre os íons de cargas opostas, sem demonstrar interações entre as partículas que constituem o sal com as moléculas de água. Como esses alunos não estiveram presentes na outra aula referente à realização da Atividade 5, não foi possível explorar mais esse modelo³⁵.

Nessa outra aula da Atividade 5, somente A6 e A7 estavam presentes. Eles optaram por construir outro modelo (figura 11) para o sal de cozinha dissolvido em água.

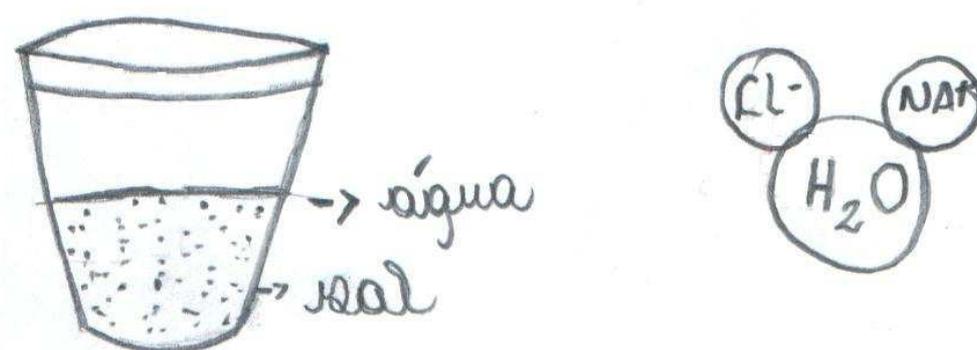


Figura 11. Modelo dos alunos A6 e A7 para dissolução do sal de cozinha em água.

Esses alunos construíram um modelo que evidencia a água e o sal misturados, sendo que, apesar de constituírem um sistema homogêneo (idéia apresentada por A6 e A7), as partículas de sal foram evidenciadas como sendo grãos de sal, semelhantes aos

³⁵ A8 esteve presente novamente apenas na 2ª aula da Atividade 6, e A5 só na aula referente à realização da Atividade 7.

pequenos cristais que vemos no nosso dia-a-dia. Eles também representaram a água se ligando aos íons Na^+ e Cl^- , de forma análoga à maneira como representamos usualmente a molécula de água³⁶.

Os alunos A6 e A7 representaram um modelo do tipo 'NaCl molécula' (figura 12) para o cloreto de sódio após a evaporação da água.



Figura 12. Modelo dos alunos A6 e A7 para o cloreto de sódio.

Nesse modelo é mostrada apenas uma única atração entre os íons de carga opostas. Na justificativa desse modelo, esses alunos escreveram que:

“Nós percebemos que quando a água evaporou só ficou as partículas Na^+ e Cl^- , com isso elas se juntaram formando o cloreto de sódio.” (Questão 2)

“O tipo dessa interação é que os íons se misturam quando a água do recipiente evapora e então os íons ficam misturados formando cloreto de sódio.” (Questão 3)

“Achamos que, no caso o Na^+ , que é o sódio, se junta ao Cl^- , cloreto, formando a mistura do sal de cozinha, e é por causa dos íons.” (Questão 4)

O diálogo apresentado a seguir mostra as discussões da professora com esses alunos sobre esse modelo (figura 12), na tentativa de entender melhor o motivo de as partículas se ‘juntarem’, se ‘misturarem’:

A6: *“Aqui é o Cl^- , e aqui o Na^+ . A gente colocou assim porque se formou uma substância, porque ao evaporar elas se misturaram. A gente colocou assim ligado.”*

Prof.: *“Na verdade o que você colocou aí ligado é porque o Na^+ está misturado com o Cl^- ?”*

Prof.: *“Só de estar misturado significa que está ligado?”*

A6: (concorda)

Prof.: *“Você pensou no tipo de interação entre eles?”*

³⁶ Modelo espacial que enfatiza a geometria da molécula, mas não a existência das ligações covalentes.

A6: “Ah A7, ajuda aí.”

Prof.: “Eles interagem só porque estão misturados, nada mais que isso?”

A6: “Por causa dos íons também.”

Prof.: “Dos íons.”

Prof.: “Se tem quais tipos de íons aí?”

A6: “Positivo e negativo.”

Prof.: “Então tem a ver com os íons, positivos e negativos, não é só porque está tudo misturado.”

A6: “É por causa dos íons e deve ser porque um completa o outro.”

A professora, buscando ajudar esse grupo a desenvolver um melhor entendimento sobre o que seria a interação entre os íons de carga oposta, promoveu um diálogo entre os grupos 1, 2 e 4:

Prof.: “Vocês perceberam que fizeram modelos diferentes quanto à construção, sendo que os que mais se assemelham: são o do grupo 1 (figura 6) e grupo 2 (figura 12). Quanto à construção foi diferente, mas no fundo o raciocínio foi semelhante, concordam?”

A2G1: “Sim.”

Prof.: “No fundo, qual foi o raciocínio para montar esses modelos? Todos fizeram um modelo diferente com um mesmo princípio. Qual seria o princípio desse modelo?”

A6: “Uai, a formação do sal de cozinha.”

Prof.: “Pois é, a formação do sal de cozinha. E a formação dele se dá como?”

A6: “Com $Na^+ Cl^-$.”

Prof.: “Interagindo.”

A6: “Isso.”

Prof.: “E que tipo de interação é essa?”

A6: “Da mistura. Que depois que a água evapora fica o resíduo no copo.”

A2G1 e A13G4: “Interação entre cargas.”

Prof.: “Isso, interação entre cargas, entre íons de cargas opostas. Isso é ligação entre átomos, que estão na forma de íons, e não é mistura de átomos”. Mistura era antes, do sal com a água.”

A aluna A6 havia dito que o grupo estava com dificuldades em responder a questão 5 (relacionada à estabilidade). No momento de socialização das respostas, A6 e A7 disseram não ter conseguido pensar em nenhuma resposta para essa questão. Após a apresentação das respostas dos grupos 1 e 4, A6 e A7 disseram concordar com eles, que

o mais estável seria o cloreto de sódio porque ele não se transformava mais em outra substância. Foi a professora quem promoveu um fechamento para essa questão, relacionando estabilidade a abaixamento de energia quando os íons se ligavam ao dar origem à substância.

Na primeira aula referente à realização da Atividade 6 (teste do modelo), apenas A7 estava presente. Ao ler as solicitações das questões, A7 disse que não estava conseguindo pensar em qualquer explicação, e pediu auxílio à professora:

Prof.: *“Quando você tem uma substância sólida você fornece energia e ela passa a ser líquida. Agora pensa no modelo do cloreto de sódio, o que será que está acontecendo quando você fornece à substância energia?”*

A7: *“Ah, não sei.”*

Prof.: *“Pense, isso que você representou não significa união, interação (figura 12)? O que será que essa temperatura tão alta, depois de fornecer tanta energia, faz com isso?”*

A7: *“Ah, sei lá.”*

Prof.: *“Olha só, eu tenho isso aqui (figura 12). Isso representa o cloreto de sódio e eu vou aquecer, pensa que você vai aquecer o sal de cozinha. Quando chegar a 808 graus vai começar a fundir, a 809 ele já será líquido. O que acontece com essa estrutura?”*

A7: *“Ficou líquido.”*

Prof.: *“Pois é, para ficar líquido, algo ocorre com esse aqui (modelo do cloreto de sódio sólido – figura 12) que o torna diferente do sólido. O que no líquido é diferente do sólido? O que essa energia faz com o sólido? Deu uma luz?”*

A7: *“Deu. Esse aqui é o formato líquido (se referindo ao modelo dele – figura 12).”*

Prof.: *“Não, é do sólido.”*

Prof.: *“Você já pensou como seria o líquido?”*

Prof.: *“Por que deve ser fornecido esse tanto de energia para ser líquido?”*

A7: *“Porque só assim passa para o líquido.”*

A professora insistiu que ele deveria tentar relacionar aquelas idéias com o modelo, mas até o término daquela aula, o aluno não expressou nenhuma idéia que evidenciasse que ele tivesse conseguido pensar em qualquer explicação para a necessidade de se fornecer muita energia para a fusão do cloreto de sódio.

Na segunda aula referente à realização dessa atividade, A6, A7 e A8 estavam presentes. A aluna A6 conseguiu chegar a uma conclusão própria sobre o alto valor de

temperatura para a ocorrência da mudança de estado, pois os outros componentes do grupo não tinham formulado qualquer explicação (A7 e A8 estavam muito dispersos nessa aula). O diálogo a seguir evidencia as idéias desses alunos:

Prof.: *“O que acontece com as partículas para obter o líquido?”*

A6: *“Elas vão borbulhar e separar.”*

Prof.: *“E seu modelo explica essa passagem, essa temperatura?”*

A6: *“Não, porque ele mostra elas mais juntas.”*

Prof.: *“E por que é necessário dar energia para ser líquido?”*

A6: *“Para separar.”* (Nesse caso, uma partícula da outra, ela mostra com gestos a quebra do palito no modelo evidenciando quebra da ligação entre os íons).

Prof.: *“Isso.”*

A6: *“A gente vai ter que reformular, porque aqui eles estão ligados e no líquido não é assim.”*

Prof.: *“Vocês não entenderam, o sólido de vocês explica porque tem que fornecer tanta energia?”*

A7: *“Explica. Porque sim.”*

A6: *“Se a temperatura for baixa eles vão continuar do mesmo jeito, se a temperatura for alta, como você falou, aí vai separar.”*

A8: *“Não.”*

A7: *“Lógico que vai. Ele vai ferver e aí vai separar.”*

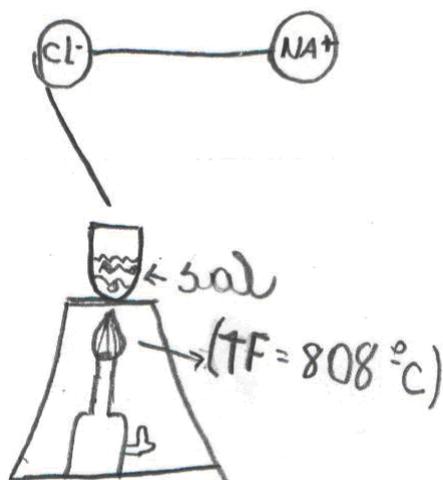
A8: *“Na⁺ do Cl⁺ [sic]?”*

A6: *“Na⁺ do Cl⁻.”* (Mostra no modelo a separação dos íons através de gestos).

A8: (Aceitou que a separação é do Na⁺ com o Cl⁻ através de concordância com um gesto efetuado pela cabeça).

Isso demonstra que A6 concluiu que a alta energia serve para separar os íons, apesar de pensar em termos de temperatura. Além disso, ela confundiu fusão com ebulição, ao pensar na fervura da substância. Apesar dessas confusões, ela chegou a conclusões importantes: de que ocorreria o rompimento de ligações entre átomos e de que na espécie líquida os íons estariam um pouco mais separados do que no sólido. A8 acabou concordando com A6 sobre o fato de a energia servir para romper as ligações. A6 afirmou que seu modelo para o cloreto de sódio não era capaz de explicar a elevada temperatura de fusão. Isso porque era necessário que as partículas estivessem mais separadas, ou seja, ela estava pensando no final do processo (cloreto de sódio líquido) e

não no que acontecia durante o processo. Ela também não pensou na necessidade de uma ou mais ligações para explicar o elevado valor da temperatura de fusão. A7 afirmou que, a partir do modelo do grupo dele (figura 12), não era possível explicar o valor da temperatura de fusão, mas não apresentou qualquer explicação plausível. A7 e A8 acabaram concordando com todas as idéias de A6 e em suas atividades escritas, eles desenharam e responderam que:



“Quando colocamos o cloreto de sódio (sal = Cl^-Na^+) na temperatura de $808^\circ C$ há uma fusão. Nosso modelo não pode explicar a fusão, pelo fato de que nosso modelo está interligado, quando ele está em fusão ele se separa e a substância se funde com o calor.”

Figura 13. Representação do grupo 2 para o processo de fusão do cloreto de sódio.

Em relação à questão 2 (que solicitava um modelo reformulado), os alunos desse grupo desenharam e construíram um modelo para o cloreto de sódio líquido (figura 14). Eles justificaram esse modelo, da seguinte maneira: *“Isso representa o estado líquido do cloreto de sódio, partículas mais separadas”*. Eles não afirmaram nada a respeito de interação entre os íons quando no estado líquido. Na representação deles há uma incoerência: o uso de bolinhas entre os íons. O grupo não identificou as bolinhas como sendo outros átomos e não apresentou uma justificativa para utilizá-las no modelo ao serem questionados pela professora a respeito das representações adotadas.

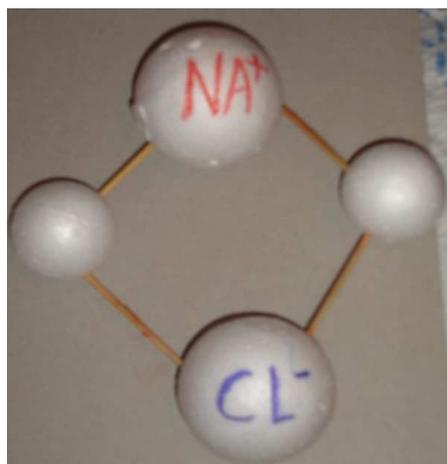
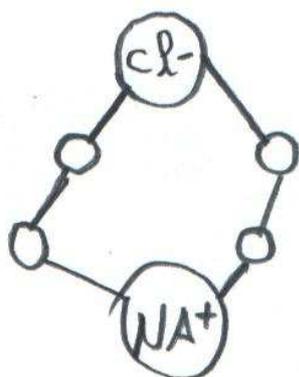


Figura 14. Modelo do grupo 2 para o cloreto de sódio líquido.

Esse grupo, contrariamente aos demais, foi o único que não conseguiu utilizar os dados disponibilizados na Atividade 7 (ver descrição das aulas) para a reformulação do modelo do tipo 'NaCl molécula' (figura 12) construído durante a realização da Atividade 5. Eles continuaram com esse modelo até antes da socialização dos modelos de cada grupo.

Porém, depois da apresentação de todos os outros grupos (que não mais apresentaram modelos moleculares para o cloreto de sódio), esse grupo foi capaz de reformular seu modelo do tipo 'NaCl molécula' (figura 12), construindo um modelo que demonstrasse mais ligações entre os íons (figura 15).



“Nós fizemos isso, porque tivemos que aumentar os pares para fazer a modificação certa.” (A7 e A8).

“Nós fizemos esse modelo, porque tivemos que aumentar os pares, porque 1 par tem 104,5kcal e se aumentarmos fica 206,0kcal.” (A5 e A6).

Figura 15. Modelo reformulado do grupo 2 para o cloreto de sódio.

Apesar de construírem um novo modelo, os componentes desse grupo apresentaram justificativas vagas (A7 e A8) ou associação incoerente: se um par libera 104,5kcal, dois pares liberam o dobro de energia (A5 e A6).

Na aula em que ocorreu a Atividade 8 (teste do modelo reformulado), inicialmente, só o aluno A7 estava presente. Posteriormente, o aluno A8 chegou, mas durante a aula ele se mostrou pouco engajado e bastante disperso.

Inicialmente, A7 disse à professora que não estava conseguindo pensar em como o modelo do grupo dele poderia explicar ou não o valor de temperatura de fusão para o cloreto de sódio. Novamente, assim como na Atividade 6, a professora o auxiliou através de perguntas que o estimulasse a pensar no processo de fusão:

Prof.: *“Cadê o modelinho seu (figura 15)?”*

Prof.: *“Como você imagina isso aqui no estado líquido?”*

Prof.: *“Aqui você tem o sólido, com as partículas mais próximas. E no líquido, como você imagina que é?”*

A7: *“Sei lá, tipo água.”*

Prof.: *“Você acha que quando ele funde o aspecto é como água.”*

A7: *“É.”*

Prof.: *“Independente disso, do aspecto, pense nas partículas, Na^+ , Cl^- . No sólido estas partículas estão próximas. Como você as imagina no líquido?”*

A7: *“Ah, sei lá. Só imagino elas lá, separadas no líquido.”*

Prof.: *“Não, elas não estão num líquido. Eu penso nisso aqui, no estado líquido.”*

A7: *“Não entendi.”*

Prof.: *“Você tem cloreto de sódio sólido, imagina cloreto de sódio líquido.”*

A7: *“Ah, tá.”*

Prof.: *“Seu problema é para você conseguir separar as partículas, não é fácil, deve ser fornecida muita energia, mas tanta energia, que a temperatura chega a 808 °C. Eu quero que você me explique o seguinte: o seu modelo anterior (figura 12) é capaz de explicar porque deve ser fornecida muita energia para separar e ter a substância no estado físico líquido?”*

No decorrer da aula, esses alunos não mais discutiram com a professora. Na socialização das respostas da atividade, a professora solicitou a todos os grupos que expressassem suas idéias. Quando o grupo 2 se manifestou, eles disseram que muita energia era necessária porque:

A7: *“A energia que chega a 808 °C ela quebra os íons e transforma em líquido.”*

Prof.: “*Não é que ela quebra os íons. Ela quebra, no sentido de diminuir a atração entre os íons. Entre eles. E não é um quebrar físico. Tá?*”

Na atividade escrita desses alunos, eles desenharam um modelo para a forma sólida e outro para a forma líquida (figura 16). As explicações se basearam, simplesmente, na necessidade do fornecimento de muita energia para separar os íons.

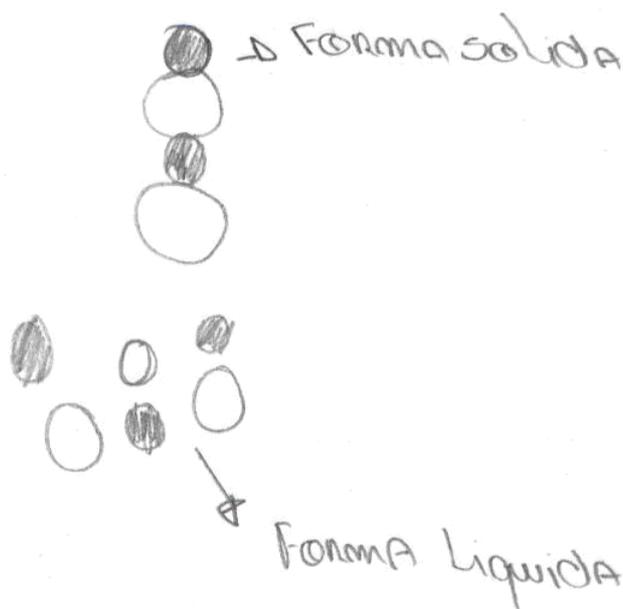


Figura 16. Modelo dos alunos A7 e A8 para o cloreto de sódio sólido e líquido.

Esses alunos não conseguiram responder às solicitações das questões dessa atividade de forma completa. Isso porque eles não foram capazes de formular uma justificativa completa para a necessidade de várias ligações no modelo para o cloreto de sódio sólido (modelo em rede) para justificar a energia fornecida, e que devido a isso, o modelo em par não explicaria. Características importantes como esta foram enfatizadas durante a socialização das respostas. Nesta ocasião, os outros grupos deram contribuições muito importantes, como o fato de que só com mais “*pares de atração*” seria necessária muita energia para a fusão, o que não ocorreria com um único par de atração (ver estudo de caso do grupo 3).

Na avaliação da estratégia de ensino (Atividade 9), os componentes desse grupo afirmaram que as atividades foram muito complicadas, mas que mesmo assim foi mais fácil aprender sobre ligações iônicas. A6 disse que o trabalho em grupo colaborou para isso.

Para A8, as partes mais difíceis da estratégia foram as relacionadas com a Atividade 4 (formação de íons) e Atividade 8 (entender como os íons se separam). Por outro lado, A6 reconheceu que o mais difícil foi ter que expor suas idéias em público. Nesse momento, os outros alunos do grupo disseram que se sentiram mais retraídos pela filmadora e não por expor as idéias aos outros grupos e à professora, uma vez que havia muito respeito pelas respostas dos colegas.

A6 afirmou que existem poucas semelhanças entre o processo vivido por eles e o que os cientistas vivenciam, pois eles são mais capacitados para construir modelos e para expressar o que pensam.

Os alunos desse grupo foram bastante infreqüentes durante o processo de modelagem (A5, 14 faltas; A6, 5 faltas; A7, 5 faltas e A8, 6 faltas; em 18 aulas). Por isso, eles se encontravam um tanto quanto desconexos no processo, pois não sabiam qual prosseguimento dar às atividades anteriores, de aulas em que estavam ausentes. Quando a aluna A6 estava presente, os demais componentes do grupo se mostravam mais engajados.

A aluna A5 não fez a avaliação de aprendizagem. Em relação aos demais alunos do grupo 2, na avaliação de aprendizagem de conteúdo, foi verificado que:

- a respeito do que seria a ligação iônica e de como uma substância iônica é formada, A6 e A8 apresentaram a idéia de atração entre íons de carga oposta, enquanto A7 apenas citou o fato de uma substância iônica ser formada por íons, sem, no entanto, expressar algo a respeito de qualquer tipo de interação;
- A6, A7 e A8 expressaram um modelo para substância iônica em rede, porém com aspectos incoerentes, como o fato de cargas positivas se atraírem no retículo;
- A6 e A8 disseram haver atração eletrostática nas substâncias iônicas nos estados sólido e líquido. A resposta de A7 foi inconclusiva quanto a esse aspecto;
- em relação às associações feitas pelos alunos entre energia e mudança de estado físico, A6 associou alta temperatura de fusão à força da ligação iônica (interatômica). Por outro lado, A8 não demonstrou conhecimentos sobre mudança de estado físico relacionado com ligação iônica, pois apresentou idéias gerais sobre mudança de estado físico:

“independente dos dias se não tiver uma temperatura elevada, nada vai acontecer – provavelmente, referindo-se ao sal. A água fundiu [sic], porque sua temperatura de fusão é inferior à do sal”).

Por outro lado, A7 demonstrou confusão sobre o efeito da energia em relação à mudança de estado físico do cloreto de sódio, como o fato de ser necessário elevar a temperatura para o cloreto de sódio líquido voltar a ser sólido.

3.2. Análise do Estudo de Caso

A análise do estudo de caso do processo de aprendizagem vivenciado por esse grupo possibilitou identificar a noção de modelos e a visão de ciências apresentada pelos alunos, o que foi importante para perceber se tais idéias influenciaram no processo de modelagem para ligação iônica, como será apresentado no decorrer desta análise.

Não tivemos acesso às idéias prévias de A5 sobre modelos, pois a aluna faltou à primeira aula referente à Atividade 1. Além disso, ela faltou em muitas aulas da estratégia, o que inviabilizou o acompanhamento de suas idéias, assim como qualquer inferência sobre seu conhecimento relativo a modelos.

A6 apresentou como idéias iniciais sobre modelos o fato de serem representações parciais (que podem não ser concretas e ser de algo não visível) com o intuito de evidenciar algum aspecto e facilitar o entendimento. Ela foi coerente com essas idéias ao classificar as representações para água, mapa, mistura enfatizando as partículas como modelos. Porém, A6 apresentou a idéia de modelo como miniatura para classificar o carrinho como modelo. E, ainda, não reconheceu gráfico, fórmula e a representação de mistura homogênea para a dissolução como modelos (o que deveria ter ocorrido se ela tivesse utilizado suas idéias iniciais de forma coerente). A não utilização de forma coerente de suas idéias sobre modelo como representação na classificação de todos os sistemas pode ter ocorrido em função de a aluna não ter percebido que pode haver múltiplos modelos para uma mesma entidade enfatizando diferentes aspectos e de não ter certeza sobre modelos poderem ser representações não concretas expressando idéias abstratas.

A7 apresentou a concepção sobre modelo de representação em réplica reduzida da realidade e foi coerente com essa idéia ao classificar o carrinho como modelo. Ele classificou o mapa, as representações para a água e a representação sub-microscópica

para a dissolução como modelos, justificando suas classificações com respostas que não deixaram claro se ele pensava em limitações, ou seja, em representação parcial enfocando algum atributo. Ele não classificou a fórmula e o gráfico como modelos, possivelmente por pensar em modelo em escala.

A8 apresentou idéias semelhantes a A6, exceto em um aspecto: não ressaltar que modelos não precisam ser concretos e que podem representar coisas invisíveis. Possivelmente por isso, ele não tenha classificado gráfico e fórmula como modelos. Além disso, na Atividade 4 ele teve dúvidas se uma explicação verbal poderia ser um modelo, o que pode evidenciar uma dificuldade em pensar em modelos de forma não concreta, ou seja, ele poderia se preocupar mais com os aspectos físicos do modelo, do que com as idéias expressas por ele. De acordo com a literatura (Justi & Gilbert, 2002) muitos alunos e professores raramente fazem menção a analogias e explicações verbais como tipos de modelos.

A análise das idéias expressas na Atividade 2 não favoreceu a obtenção de muitas informações sobre a maneira como os componentes desse grupo pensavam que os modelos eram construídos na ciência. Isso porque eles focaram mais em descrever as ações que desenvolveram no trabalho de investigação do objeto contido na caixa (verificar atração por imã, sentir o peso etc.) do que na descrição de etapas para proposição de modelos no geral.

De acordo com A6, o trabalho de confecção de modelos por parte dos cientistas não se assemelhava ao que eles haviam realizado na Atividade 2 porque os cientistas eram muito mais inteligentes e capacitados. Essa idéia persistiu após todo o processo de ensino desse tema, como verificado nas respostas da Atividade 9.

Assim como o grupo 1, para este grupo, o trabalho dos cientistas se assemelhava ao que eles haviam realizado em um aspecto: a observação. Eles também achavam que a construção do conhecimento deriva-se da experimentação. Dessa forma, demonstraram concepções espontâneas sobre natureza da ciência relativas à natureza empírica do conhecimento e ao não discernimento entre observação e inferência (Lederman et al., 2002). A8 ainda demonstrou uma concepção corriqueira do senso comum, a de descoberta ao acaso.

A partir da análise do estudo de caso para o processo de ensino vivenciado pelo grupo 2 com foco nas Atividades 3, 4, 5, 6, 7, e 8, é possível afirmar que um dos principais elementos que contribuíram para o processo de aprendizagem dos alunos

deste grupo foram as sugestões, os questionamentos e as intervenções da professora ao longo das atividades. As intervenções da professora ocorreram em várias atividades, principalmente, quando a aluna A6 estava ausente, momentos em que A7 apresentava grande dificuldade em integrar suas idéias na elaboração de modelos. Nesses casos, quem lhe auxiliava, buscando estimulá-lo a pensar ou guiar seu raciocínio, era a professora.

Na Atividade 4, a professora ajudou os alunos desse grupo a recapitular os conceitos de íons e energia de ionização. Na Atividade 6, a professora estimulou A7 através da proposição de 'questões geradoras'³⁷ de forma a auxiliá-lo na compreensão do dado empírico ali apresentado. Porém, uma explicação só foi fornecida quando A6 esteve presente na realização da atividade. Situação semelhante ocorreu na Atividade 8, quando a professora recapitulou os principais aspectos de modelo de partículas com A7.

Em algumas atividades, esses alunos não expressaram modelos integrando suas idéias prévias e as evidências empíricas. Por exemplo, contrariamente aos demais grupos, eles não conseguiram propor um modelo em rede após a exposição dos dados empíricos relativos à energia liberada na formação de par Na^+Cl^- e de rede. Em alguns casos, eles propuseram explicações menos completas (como na Atividade 8) em relação às explicações propostas por outros grupos. Uma possível explicação para esse fato pode ser a ausência dos componentes do grupo nas aulas, o que os levou os demais alunos a não acompanharem o processo de modelagem e em os dados apresentados não serem tão significativos para eles.

A socialização também teve papel primordial no processo de aprendizagem desse grupo, pois contribuiu para que entendessem alguns dados ou conceitos. Isso porque o grupo 2 só conseguiu pensar numa organização que levasse em consideração maior número de íons interagindo após a apresentação dos grupos 1, 3 e 4. Mesmo assim, alguns componentes do grupo justificaram o modelo de forma vaga ou com associações incoerentes, como o fato de a energia liberada ser proporcional ao número de pares iônicos, o que nos leva a inferir que eles pensaram apenas no aumento das atrações quando se aumenta o número de pares iônicos e não nas repulsões. Além disso, durante a socialização, o grupo 2 era apresentado a aspectos que não tinham sido

³⁷ Tradução usada nesse trabalho para a expressão em inglês "generative questions", apresentada por Vosniadou (2002). Tais questões têm o propósito de estimular o desenvolvimento do modelo e a construção do conhecimento sem, com isso, fornecer respostas de um conhecimento já pronto.

discutidos por eles, como na Atividade 8, quando eles apresentaram uma explicação mais simples para explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio em relação aos demais grupos. Portanto, as discussões finais e a recapitulação de idéias foram essenciais para os componentes desse grupo.

Vale ressaltar que os alunos desse grupo apresentaram-se bem mais engajados na Atividade 5, sendo capazes de propor um modelo 'NaCl molécula' e explicações para as questões propostas na atividade. Pode ser que os experimentos mentais solicitados nessa atividade (fundamentados em situações cotidianas) tenham influenciado nisso. Através dessa atividade, verificou-se confusões sobre os conceitos de mistura e substância, como apresentado na Atividade 3 (para A7, FeO seria uma mistura de átomos de Fe e O), que puderam ser novamente discutidas, visando uma melhor compreensão dos termos. E ainda, verificou-se a utilização do termo mistura de forma semelhante à ligação (a mistura de Na^+ e Cl^- dá origem a substância cloreto de sódio). A professora explorou mais o significado desse termo, obtendo como resposta a idéia de mistura como sinônimo a ligação devido à atração entre as cargas. Isso evidencia que os modelos propostos a partir dos experimentos mentais possibilitaram o uso de um conhecimento tácito na proposição do primeiro modelo para ligação iônica (figura 12), visto que as justificativas demonstradas por A6 (*“os íons tendem a ficar juntos, porque um completa o outro”*) não demonstraram um conhecimento implícito de força coulombiana, mas uma idéia de que cargas opostas têm tendência natural a se atraírem. Nas demais atividades, os componentes do grupo, apesar de às vezes empregarem o termo mistura ao invés de ligação, pareciam fazê-lo no sentido de interação entre as cargas.

Outro aspecto importante que contribuiu para a aprendizagem desses alunos foi a expressão dos modelos de forma verbal e concreta. Isso porque durante a Atividade 6, A6 apresentou características coerentes sobre o processo de fusão do cloreto de sódio. Porém, a professora observou incoerências na representação adotada pelo grupo durante a expressão do modelo (uso de bolinhas que representavam os íons sem identificação). Por isso, ela questionou o grupo sobre as representações usadas na confecção desse modelo. O grupo não reconheceu incoerências nas representações adotadas, o que levou a professora a ter dúvidas sobre o entendimento desses alunos a respeito do modelo de partículas e da substância cloreto de sódio ser formada por dois tipos de íons. Ademais, a possibilidade de utilizar os modelos concretos para explicações auxiliou a professora a

intervir e dar sugestões ao grupo 2 na Atividade 8. O mesmo ocorreu na socialização das respostas, quando a manipulação do modelo concreto auxiliou os alunos a pensar na 'quebra' das ligações entre os íons (enfraquecimento de ligação interatômica).

Após o encerramento do processo, na avaliação final, os alunos desse grupo apresentaram diferentes modelos para ligação iônica, que possivelmente se relacionaram aos seus desempenhos individuais nas atividades de modelagem.

A5 foi a aluna menos presente desse grupo nas aulas de modelagem e não fez a avaliação final de conteúdo.

A6, que poderia ser considerada como a líder do grupo, foi quem apresentou mais idéias coerentes sobre ligação iônica. Ela foi capaz de conceber a ligação iônica como atração entre íons de cargas opostas, com existência de força eletrostática entre eles, independente do estado físico da substância (sólido ou líquido). Porém, ela expressou um modelo em rede com aspectos incoerentes para o cloreto de sódio, como, por exemplo, dois íons de mesma carga interagindo num retículo. Esse fato pode ser devido ao grupo não ter conseguido propor um modelo após a exposição dos dados empíricos na Atividade 7, pois esses alunos conseguiram pensar em algo somente após a apresentação dos outros grupos e, mesmo assim, A6 fez associações incorretas em relação aos dados sobre energia na formação de par e rede (idéia de proporcionalidade na energia liberada ao se aumentar o número de pares). Portanto, o grupo 2 não deve ter compreendido claramente os modelos propostos pelos outros grupos no momento de socialização, apresentado, ao final da aula, um modelo construído sem completo entendimento de seu significado, possivelmente uma apropriação de idéias de outros grupos associado a um entendimento superficial de força coulombiana. A6 também respondeu que no processo de fusão há rompimento de ligação interatômica, o que é coerente com o fato de ela ter sido a componente do grupo a mais se engajar cognitivamente nas Atividades 6 e 8. Na Atividade 8 parece ter ficado claro para a aluna o fato de o rompimento ser de ligação interatômica, visto o uso do modelo concreto e de gestos demonstrando separação dos íons no processo de fusão efetuados por ela.

Apesar de o grupo evidenciar aspectos macroscópicos em alguns modelos (figuras 11 e 13), parece que A6 utilizou a idéia de modelo como representação ao fazer referência aos modelos (*"Isso representa o estado líquido do cloreto de sódio, partículas mais separadas"*). A6 teve mais facilidade em utilizar os modelos com função explicativa do que os demais componentes de seu grupo, o que pode tê-la

ajudado a entender o rompimento de ligação interatômica na fusão do cloreto de sódio. Sendo assim, sua noção de modelos pode ter sido ampliada em função da estratégia de ensino ter-lhe possibilitado condições de utilizar modelos com função explicativa e de comunicação. Possivelmente, a capacidade de modelos favorecerem a visualização não foi entendida pela aluna, uma vez que ela teve dificuldades em propor um modelo em rede na avaliação. Tal fato também pode ser explicado por ela ter tido mais dificuldade em entender o significado das representações e o uso modelos distintos para o cloreto de sódio apresentados em sala de aula.

A7 apresentou apenas um aspecto coerente sobre ligação iônica em sua avaliação: substância iônica é formada por íons. Ele afirmou que as substâncias iônicas são formadas por rede, mas apresentou um modelo em rede com aspectos incoerentes. A explicação para isso pode ser a mesma apresentada para A6. Esse aluno teve desempenho, em relação a conhecimento de conteúdo, inferior a A6, provavelmente como resultado de seu menor engajamento cognitivo e da clara dificuldade em integrar os conhecimentos anteriores aos novos dados. Além disso, muitas vezes ele concordava com A6 sem entender o motivo da explicação.

Ao longo da estratégia de ensino, A7 apresentou muitas dificuldades em utilizar modelos para explicar algo (por exemplo, nas Atividades 6 e 8). Talvez isso tenha ocorrido por ele não ter entendido que modelos são úteis para facilitar a explicação, o entendimento e a visualização de entidades abstratas. Isso pode ser um indício de que o aluno tenha utilizado a concepção de modelo como réplica em miniatura para artefatos concretos e que através das atividades de modelagem não tenha conseguido modificar ou ampliar suas idéias sobre modelo em direção às utilizadas na ciência.

A8 concebeu a ligação iônica como atração entre íons de cargas opostas existente nas substâncias nos estados sólido e líquido e também apresentou um modelo em rede com aspectos incoerentes. Isto parece se justificar pelo mesmo motivo discutido no caso de A6, agravado pelo fato de que ele só esteve presente na segunda aula da Atividade 7. Este aluno não demonstrou entendimento sobre o valor de temperatura de fusão para compostos iônicos, o que também pode ser justificado pela concordância com as idéias de A6 nas Atividades 6 e 8 sem de fato compreendê-las. Além disso, na Atividade 9, ele reconheceu que esse aspecto, juntamente com a Atividade 4, foram os de mais difícil compreensão para ele.

Assim como A6, A8 utilizou a idéia de modelo como representação, aspecto percebido principalmente pela maneira pela qual fazia menção a um modelo (por exemplo, ao propor o modelo para o cloreto de sódio dissolvido em água – figura 10 – e salientar que, para ele, o modelo representava a maneira como achava que estavam as partículas componentes da mistura). Ele apresentou dificuldades em utilizar modelos como função explicativa e de visualização, o que pode ter influenciado na avaliação ao propor um modelo em rede e explicar a elevada temperatura de fusão dos compostos iônicos.

O fato de esses alunos proporem um modelo em rede com incoerências na avaliação corrobora a idéia de que a aprendizagem ocorre de maneira significativa quando o sujeito é capaz de integrar os novos dados aos conhecimentos anteriores e expressá-los na forma de um modelo, verificando o que ele é capaz de explicar e suas limitações (Hodson, 1992). Isso é diferente de um conhecimento transmitido quando um modelo é apresentado 'pronto' ao sujeito. Portanto, esses dados podem corroborar os resultados de algumas pesquisas (Erduran & Duschl, 2004; Justi & Gilbert, 2003a; Raghavan & Glaser, 1995; Taylor et al., 2003) que apontam que o sujeito pode aprender significativamente quando imerso em atividades de modelagem.

Mesmo com a ausência em muitas aulas, na aula de avaliação da estratégia de ensino (Atividade 9), A7 e A8 informaram à professora que *“é mais fácil aprender através da construção de modelos”*. Além disso, reconheceram que deveriam ter se engajado mais nas atividades. Em relação a isso, A7 disse que *“havia muitas coisas que não entravam em sua cabeça, pois deveria prestar mais atenção”*.

4. GRUPO 3

4.1. Estudo de Caso

O grupo 3 participou ativamente nas discussões referentes às concepções sobre modelos. Inicialmente, A10 apresentou as idéias de modelo como protótipo e tipo de alguma coisa.

Na discussão sobre a tirinha, a professora percebeu que o grupo não interpretou o significado de modelo para Mafalda. Ao invés disso, os alunos interpretaram

semanticamente o que estava escrito na mesma. A professora os indagou sobre o fato de o globo ser modelo e solicitou justificativa para a resposta. Eles disseram que o globo terrestre era modelo por ser uma forma de representação. Ao escreverem sobre sua concepção de modelo, na segunda parte dessa questão, utilizaram concepções cotidianas: modelo como tipo de alguma coisa ou exemplo a ser seguido.

Quanto aos sistemas apresentados pela professora, houve um consenso no grupo de que carrinho era modelo por ser um tipo de modelo de carro, ou seja, os alunos empregaram a idéia cotidiana de modelo como tipo de algo. Essa mesma idéia foi empregada por A9 ao se referir ao fenômeno de dissolução como modelo (*“um tipo de mistura homogênea”*). A10, por sua vez, disse que a dissolução não era modelo, porque era a própria mistura.

Em relação à representação da molécula da água em bolas e varetas, à fórmula química da água, ao desenho enfocando as partículas da dissolução do permanganato de potássio em água e ao mapa, elas disseram que se tratavam de modelos porque eram representações, sendo que em alguns exemplos elas destacaram a presença de limitações. Elas também se referiram ao gráfico e à fórmula como modelo, mas sem apresentar uma justificativa plausível.

Os alunos desse grupo disseram que o desenho enfatizando mistura homogênea não seria modelo, porque *“só é a apresentação da mistura”* (A10).

Ao realizarem a Atividade 2, os alunos do grupo investigaram o objeto contido na caixa através da atração do mesmo por um ímã e por outros metais. Eles disseram ter concluído sobre o que havia dentro da caixa através das propriedades magnéticas do material e propuseram um modelo para o material de forma coerente com as observações que haviam realizado.

A9 questionou a professora se o material que suponha haver na caixa estava correto. A professora disse que havia grande chance, pois as descrições dadas pelo grupo através das investigações eram bem coerentes. Ela aproveitou o momento para lhe pedir que pensasse no caso de um cientista, que por mais que investigue um fenômeno não tem certeza absoluta da explicação. Com base nas considerações feitas pela professora a respeito da provisoriedade do conhecimento e na leitura da citação contida na Atividade 2 (Anexo 2), A9 afirmou que já não estava curiosa para saber o

que havia dentro da caixa, pois tinha noção de que tinha feito um bom trabalho de investigação levando em consideração as ferramentas que dispunha e o cuidado que teve com as observações.

A9 e A10 disseram que a investigação e a proposição de modelo que haviam vivenciado tinham semelhanças com o trabalho científico porque os cientistas também pesquisam, observam as evidências (*“é como um trabalho de detetive”*), mudam de idéia e conectam as idéias novas às antigas para propor um modelo (*“é como um quebra-cabeça”*). A9 disse que o que diferenciava era o fato de os cientistas terem nascido com alguns dons que os tornavam melhores investigadores. A9 e A10 ressaltaram o fato de os cientistas serem muito curiosos, mas preferirem *“descobrir tudo sozinhos”*.

Na Atividade 3, para explicar como ocorria a formação do óxido de magnésio, os alunos tiveram a idéia inicial de que era necessário o aquecimento, de que sem ele a transformação não ocorreria. A professora entrevistou pedindo que eles pensassem na composição do óxido. Durante essa discussão, A9 e A11 afirmaram que *“no magnésio havia gás carbônico”*. A professora, então, lhes disse que magnésio era uma substância simples. Isto contribuiu para que A10 percebesse que no óxido, além do elemento químico magnésio, havia o elemento oxigênio. Talvez por isso ela tenha concluído que era necessário ter o aquecimento da chama e o oxigênio do ar atmosférico para que a transformação ocorresse.

Os alunos desse grupo continuaram com a idéia de explicar a transformação utilizando o gás carbônico, pois para explicar porque o fogo era necessário à transformação, eles expressaram a idéia de que *“o fogo liberava gás carbônico e, por isso, ocorria a combustão”*. A professora teve que enfatizar que combustão é reação com oxigênio, que não necessariamente o produto da combustão tem que ser gás carbônico, e que ele não é um reagente da reação analisada.

Para tentar explicar a luz oriunda da queima da fita de magnésio, a aluna A10 disse à professora que o fogo era diferente da luz liberada, que era mais intensa. A professora promoveu uma discussão com os alunos deste grupo sobre o que era essa luz e sobre qual era a origem dela, questionando-os se eles se lembravam de algo das aulas anteriores, quando ela discutiu sobre ondas eletromagnéticas e espectro da luz visível. Como eles afirmaram não se lembrar daquelas discussões, a professora lembrou

rapidamente esses assuntos e lhes informou que a luz era um tipo de energia. Com isso, A10 chegou à conclusão de que a luz (energia liberada) vinha do magnésio quando exposto ao aquecimento. A professora questionou A10 sobre se era necessário apenas aquecê-lo para liberar energia. Naquele momento, ela disse que sim e, mesmo depois, o grupo não pensou que a energia emitida pelo sistema poderia estar associada à reação do gás oxigênio com o magnésio. Essa informação foi dada pela professora durante o fechamento da aula desta atividade.

Em relação à transformação do magnésio em óxido de magnésio nas máquinas fotográficas antigas na ausência de fogo, as alunas A9 e A10 disseram que nunca tinham pensado nisso e que não tinham qualquer idéia que pudesse justificar o fenômeno. A professora, então, entrevistou na discussão tentando fornecer alguns elementos para que o grupo pensasse. O diálogo a seguir ilustra uma dessas intervenções, que também contou com a participação de alunos do grupo 1:

Prof.: *“Então se ela acontece com o fogo e sem o fogo, é possível dizer que o fogo é fonte de que?”*

A10: *“Um gás. Não né?”*

Prof.: *“Há uma relação entre o fogo e algo da máquina?”*

A10: *“Então acontece algo lá dentro que faz a luz aparecer?”*

Prof.: *“E acontece. Acontece a mesma transformação – de magnésio em óxido de magnésio.”*

Prof.: *“E acontece sem o fogo.”*

Prof.: *“O que eu quero é que vocês pensem no que há na máquina que favorece a transformação.”*

A9: *“Carga de energia. Positiva e negativa.”*

A2G1: *“Calor.”*

Prof.: *“O que a pilha fornece?”*

A1G1: *“Energia.”*

Prof.: *“Energia.”*

Prof.: *“O fogo é um tipo de que?”*

Alunos: *“Energia.”*

A9: *“E na máquina tem a energia da pilha. E esta energia é um gás”.*

Através da intervenção da professora e de alunos do grupo 1, os alunos do grupo 3 concluíram que na máquina havia algum tipo de energia que favorecia a ocorrência da

reação química. Quando A9 expôs que, para ela, energia seria um gás, a professora ressaltou que energia era algo não material. Além disso, a professora percebeu que esses alunos utilizavam os termos, calor, energia e temperatura de forma indistinta³⁸. Percebendo a existência desse problema entre os alunos desse grupo e dos demais, a professora optou por fazer uma breve distinção entre temperatura, calor e energia (ver estudo de caso do grupo 2).

Em relação a qual substância seria a mais estável (magnésio ou óxido de magnésio), os alunos do grupo 3 pensaram inicialmente no significado de estabilidade relacionando com situações cotidianas, como estabilidade econômica. A professora solicitou que eles relacionassem estabilidade com as evidências experimentais. A10 inicialmente, afirmou que o óxido de magnésio era menos estável, porque “*ele não tinha pegado fogo*”. A professora ressaltou que o correto não seria pegar fogo, mas sim liberar luz ou energia. E, ainda, informou ao grupo que o mais estável era aquele que liberava mais energia ao ser formado, algo que era incompatível com a afirmação anterior de A10. Durante a socialização das respostas, o grupo afirmou que a espécie mais estável era o óxido de magnésio, mas não correlacionou com abaixamento de energia. Eles responderam a essa questão de forma semelhante aos alunos dos grupos 1, pensando em estabilidade em termos de não alteração.

Com relação à parte B da Atividade 3 (formação e manutenção das substâncias), os alunos do grupo 3 demonstraram confusões entre os termos substância e mistura, pois A9 se referiu a exemplos de materiais, como ouro 18 quilates e “*água cristalina*” como sendo substâncias, por não terem impurezas e serem naturais. A professora ressaltou que nem sempre algo tipo como puro para o cotidiano, pode ser considerado puro para a química, pois o conceito de substância remete a apenas um componente no sistema. A10 se referiu à substância composta como mistura de átomos, ao afirmar que átomos de ferro se misturavam com átomos de oxigênio para formar os óxidos do minério de ferro. A professora dialogou com a aluna tentando mostrar as diferenças entre os conceitos de substância composta e mistura.

Ao apresentar a Atividade 4 (formação de íons) aos alunos, a professora enfatizou qual seria o seu objetivo: entender como e porque os átomos se unem para

³⁸ Durante a elaboração da estratégia de ensino não nos preocupamos com a criação de uma atividade específica sobre esse aspecto porque a distinção e o uso adequados desses termos pelos alunos não seriam determinantes para a modelagem e o aprendizado dos aspectos abordados nas atividades da estratégia.

formar as substâncias. O problema específico colocado pela professora aos alunos foi explicar a formação do cloreto de sódio a partir de átomos de sódio e cloro passando por etapas, como evidenciado no diálogo:

Prof.: *“Esse será o nosso problema, dessa aula e das posteriores: tentar entender como o cloreto de sódio é formado. E nós vamos propor um modelo para explicar isso.”*

Prof.: *“Para isso vamos passar por etapas e a primeira, que é a Atividade 4, é a seguinte: um modelo para formação de íons.”*

A10: *“Um modelo para outro modelo.”*

Prof.: *“Isso. Um modelo para outro modelo.”*

A14G4: *“Nós vamos fazer experiência para entender como o sódio e o cloro unem?”*

A14G4 e A10G3: *“Vamos ter um experimento com o sódio e o cloro para ver formar o cloreto de sódio?”*

Prof.: *“Não. Vocês trabalharão com dados de uma tabela, bolinhas de isopor e massinha de modelar.”*

Este diálogo evidencia que a aluna A10 lembrou de algo importante da aula inicial sobre modelos: ela enfatizou que eles iriam construir um modelo a partir de outro modelo até alcançar o objetivo desejado. Além disso, ela e A14G4 disseram que pensavam que fosse possível fazer um experimento prático no qual pudessem ver a formação do cloreto de sódio a partir dos átomos de sódio e cloro. Apesar da consciência sobre a necessidade de construir um modelo, essa aluna podia achar que um modelo seria a representação fenomenológica enfocando o aspecto macroscópico. A professora lhe disse que ela conhecia a substância cloreto de sódio, componente do sal de cozinha, e que podia manipulá-la experimentalmente, mas que para entender a sua formação, precisaria elaborar um modelo mental.

Esse grupo não conseguiu chegar a respostas com justificativas coerentes (em relação às questões propostas na Atividade 4) em termos do que era esperado cientificamente, talvez devido aos seus conhecimentos anteriores inadequados sobre a força existente entre núcleo e elétrons de acordo com o modelo atômico de Bohr e distribuição eletrônica. Durante a realização dessa atividade, esse grupo apresentou grande dificuldade em compreender o que era pedido especificamente nas questões e em respondê-las. Eles também disseram que acharam a atividade bastante complicada.

Através das discussões da professora com o grupo, que foram poucas nessa aula, ela percebeu que eles estavam restringindo as explicações simplesmente à formação de íons com ganho ou perda de elétrons. Durante essas discussões, ela sempre solicitava uma explicação mais completa, insistindo para que eles tentassem estabelecer uma relação com os dados fornecidos. O auxílio do grupo 4 foi importante, como ilustrado pelo diálogo a seguir:

Prof.: *“Para você explicar para alguém como é que forma um íon positivo e outro negativo, como é que é?”*

A10: *“Se vai ganhar elétrons? É isso?”*

Prof.: *“É. Mas como assim, só ele ganha ou perde? Tem que ter uma razão.”*

Prof.: *“E a razão está na energia de ionização.”*

A13G4: *“Porque você vai gastar mais ou menos energia perdendo o elétron.”*

Prof.: *“É. Tem a ver com isso sim.”*

Na discussão final das questões, após dois grupos terem citado respostas coerentes para a questão 1 (modelo para formação de íons), A10 disse que tinha conhecimentos das respostas dadas, que o problema do grupo estava em elaborar a resposta. Mas, de acordo com as impressões da professora, esses alunos não haviam demonstrado conhecimento que comprovasse que o problema relacionava-se apenas à formulação da resposta. Essas impressões originaram-se das atividades escritas desses alunos, aqui exemplificadas pela resposta à questão 1:

“Os átomos com menor energia de ionização tem mais possibilidade de ganhar elétrons e formar íons positivos. Os átomos com maior energia de ionização tem mais possibilidade de perder elétrons e formar íons negativos.”

Durante a realização dessa atividade, a professora entrevistou menos vezes pelo fato de o grupo estar menos interessado na discussão do que estava na aula anterior.

Os diálogos a seguir são referentes à discussão da questão 2 – íon mais estável formado a partir de sódio neutro e da questão 3 – íon mais estável formado a partir de cloro neutro ocorridos durante o fechamento da atividade:

Discussão da questão 2:

Prof.: *“O que você colocou A13G4? Qual a espécie mais estável formada a partir do sódio?”*

A13G4: *“O Na^+ é o mais estável porque vai ter a última camada completa e assim o núcleo vai precisar exercer a menor força para poder atrair os elétrons.”*

Prof.: *“Todos concordam que a espécie mais estável formada a partir do sódio é o Na^+ ?”*

Alunos: (Todos concordam ser o Na^+).

A10: *“Eu achei que era, agora o porquê...”*

Prof.: *“... vamos ver o porquê.”*

(Professora faz no quadro um desenho com base nas respostas coerentes dos grupos em termos de força coulombiana e modelo de Bohr para justificar a formação de Na^+).

Prof.: (complementa a explicação de outros grupos). *“A primeira energia de ionização é favorável porque ela é baixa para retirar esse elétron mais afastado do núcleo.”*

A13G4: *“O mais favorável é esse um da última camada porque a outra camada já está completa.”*

Prof.: *“Mas e se fosse retirar os elétrons do outro nível?”*

A 13G4: *“Tem salto de energia.”*

A10: *“Mas então?”*

Prof.: *“Quando eu falo para você que o íon mais estável do sódio é o Na^+ porque o último nível é completo, por que isso é verdade?”*

Prof.: *“Porque a primeira energia de ionização é baixa então é favorável retirar esse último elétron. Tudo bem?”*

A10: *“Agora eu entendi.”*

Discussão da questão 3:

Prof.: *“Qual o íon mais estável formado a partir do átomo de cloro neutro?”*

Prof.: *“Primeiro, o cloro vai formar um íon positivo ou negativo?”*

Alunos: *“Negativo.”*

Prof.: *“Por quê?”*

A2G1: *“Porque ele vai ganhar.”*

Prof.: *“Dá uma olhada na tabela. Por quê?”*

A13G4: *“A energia de ionização é mais alta.”*

Prof.: *“Olha só a 1ª energia de ionização do sódio vale 5,1 e a do cloro vale 13,0. É bem mais elevada se comparada ao sódio.”*

Alunos: (concordam).

Prof.: *“Então a tendência do cloro é formar um íon negativo.”*

Prof.: *“Vocês colocaram o que ? Cloro -1 , -2 ?”*

A13G4: *“Eu coloquei -1 .”*

A2G1: *“Também.”*

A10: *“Eu coloquei -7 .”*

A8G2: *“ -1 .”*

Prof.: *“E por quê?”*

A13G4: *“É mais favorável para ele ficar com a última camada completa do que perder os sete. Ele vai gastar, consumir muito mais energia para tirar os sete (elétrons).”*

Prof.: *“Isso. A primeira energia de ionização do cloro é alta perto da do sódio. Então ele recebe elétrons, ao invés de perder, pois consumiria muita energia para perder os sete elétrons.”*

A9: *“Não estamos conseguindo esboçar...”*

O momento mais esclarecedor para eles parece ter ocorrido nas discussões finais evidenciadas anteriormente, quando foram socializadas as respostas dos outros grupos e quando a professora organizou todas as idéias apresentadas.

Com relação à discussão da questão 2, A10 concordou com os outros grupos que tinham afirmado que o íon mais estável formado a partir de sódio neutro era o Na^+ . Porém, o grupo 3 não conseguiu explicar o motivo. Aproveitando a explicação dos componentes de outros grupos, a professora ressaltou o fato de pouca energia ser gasta para retirar esse elétron e, assim, ter-se uma espécie mais estável. Durante a discussão, a professora, juntamente com a aluna A13G4, ressaltou que para retirar elétrons de outro nível energético desse átomo haveria um salto de energia.

Esse grupo, contrariamente aos demais, afirmou ser Cl^{7-} a espécie mais estável formada a partir de átomos neutros de cloro. Após as explicações de outros grupos, A10 disse ter pensado, anteriormente, que Cl^- seria a espécie mais estável, considerando as mesmas justificativas apresentadas pelos outros grupos. Novamente esses alunos afirmaram ter dificuldades na redação da resposta, o que, para a professora, não parecia uma boa justificativa (tendo em vista as idéias expressas por eles na discussão da questão 3).

Durante a discussão final, o grupo 3 mostrou-se capaz de perceber porque as espécies Na^+ e Cl^- eram as mais estáveis. Isto aconteceu com o auxílio da professora e das respostas dos outros grupos.

Quando foram solicitados a expressar um modelo para a dissolução do sal de cozinha (Atividade 5), os alunos desse grupo apresentaram apenas um único modelo, evidenciando confusão entre aspectos macro e sub-microscópicos (figura 17).

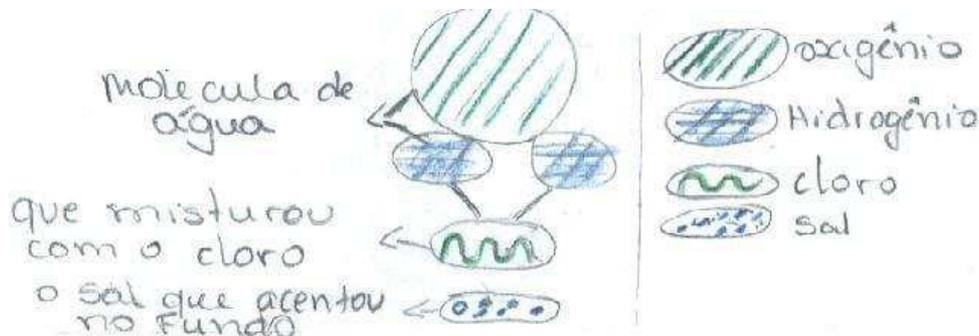


Figura 17. Modelo dos alunos do grupo 3 para a dissolução de NaCl em água.

Nesse modelo é possível perceber que os alunos desse grupo apresentaram o elemento cloro como constituindo outra substância diferente do cloreto de sódio. Eles não representaram os íons que constituem o sal dispersos na solução; simplesmente representaram o sal como sendo partículas no fundo do recipiente, sem fazer referência ao fato de ele ser constituído por dois elementos químicos diferentes. Além disso, eles utilizaram uma representação macroscópica para o sal, como sendo 'bolinhas de sal' semelhantes aos pequenos cristais dessa substância que fazem parte de nosso cotidiano. Eles justificaram o modelo dizendo que as moléculas de água se misturaram com o cloro e que o sal precipitou (*"se assentou no fundo após alguns instantes"*). Em momento algum, eles afirmaram algo a respeito de interação da água com os íons, ou entre os íons.

Durante a discussão dos modelos, a professora chamou atenção desse grupo para o fato de não existir outra substância formada por átomos do elemento químico cloro na mistura. Ela os questionou sobre a identificação que eles haviam proposto para o cloro, mas o grupo não soube responder.

A professora também os perguntou se todo o sal havia precipitado. Eles responderam que sim. A fim de ajudá-los a pensar melhor sobre esse aspecto, ela recorreu ao conceito de solubilidade, estudado anteriormente. Inicialmente, ela os lembrou que a solubilidade do sal é de 36g/100mL de H₂O a 25°C. A seguir, solicitou que pensassem em uma situação em que tivessem dissolvido 50g do sal. Em tal caso, haveria 36g de sal dispersas em solução interagindo com a água e outros 14g precipitariam. Parece que essa informação os ajudou na confecção do modelo para o

cloreto de sódio (questão 2). Isso porque esse grupo construiu um modelo para o cloreto de sódio depois da evaporação da água (figura 18) que mostrava íons, algo que não ocorreu para o modelo que representava o NaCl dissolvido em água (figura 18).

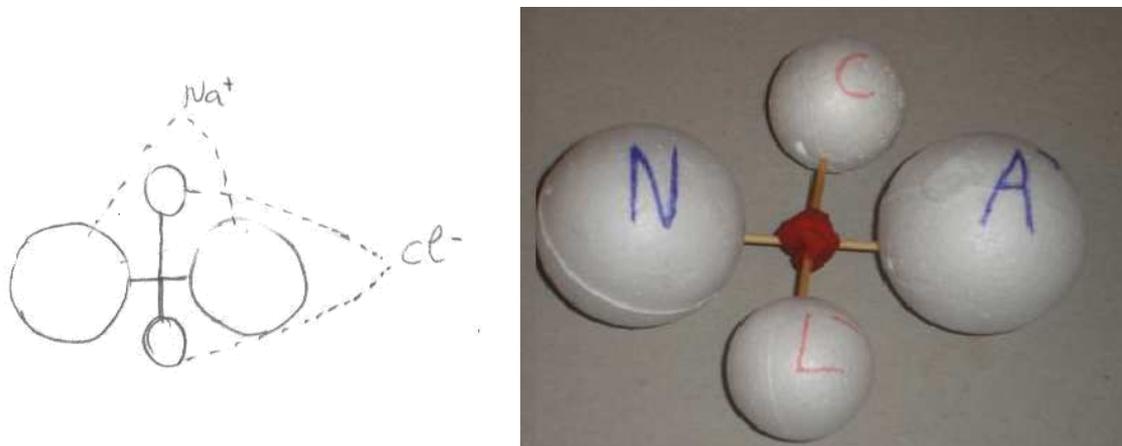


Figura 18. Modelo do grupo 3 para o cloreto de sódio.

Quando eles apresentaram o modelo para a professora pela primeira vez, ela lhes questionou a respeito da representação adotada para cada átomo: “*Vocês representaram separado o N do A porque são dois átomos?*” Os alunos do grupo disseram que não. De acordo com as impressões da professora, eles fizeram o modelo dessa forma por influência do modelo do grupo 4 (no qual mais de uma bolinha havia sido usada para representar um tipo de átomo), como será comentado a seguir. Entretanto, enquanto o grupo 4 começou a se desenvolver e engajar bem desde o começo da atividade, esses alunos ficaram inicialmente sem atitude de responder às questões. Eles ficaram apenas observando os alunos do grupo 4 construindo seu modelo, mas sem entendê-lo (aspecto observado pela professora durante o processo de ensino e confirmado através da análise de vídeo). Além disso, esses alunos acreditavam que as idéias do grupo 4 eram as mais corretas, devido à convicção e desempenho de A13G4 em responder as questões. Sempre que os alunos do grupo 3 (bem como os de outros grupos) tinham dúvidas, eles pediam auxílio a A13G4, mesmo antes das aulas dessa estratégia de ensino.

Para justificar o modelo para o cloreto de sódio, o grupo 3 demonstrou idéias semelhantes às do grupo 1, de que quando a água evapora, os íons se unem. A professora solicitou que eles pensassem melhor no que seria essa união.

O grupo pediu auxílio à professora para responder a questão 3 (referente ao tipo de interação). Como resposta, ela recomendou que eles pensassem em aspectos já

discutidos nas aulas, como energia de ionização, formação de íons, carga dos íons, estabilidade.

Durante a socialização das respostas dos grupos, esses alunos conseguiram explicar coerentemente o tipo de interação, baseado em atração entre íons de cargas opostas, como exemplificado pela fala de A10:

“A interação se dá porque os átomos são carregados com cargas negativas e positivas e só com uma interação dos dois é que se dá o sal de cozinha.”

Após apresentarem esta explicação, a professora e alunos de outros grupos questionaram os alunos do grupo 3 sobre a representação adotada no modelo deles (figura 18):

Prof.: *“E por que você colocou isso juntando aqui cruzado?”*

A10: *“Ah, depois eu pensei poderia ser só um palitinho com as duas juntas.”*

Prof.: *“Igual ao do grupo 1?”* (ver figura 6)

A10: *“É.”*

A10: *“Nem sei porque que a gente pôs isso aqui.”*

Prof.: *“Você colocou um N e um A em cada bolinha. Você está representando com duas esferas dois átomos diferentes?”*

A9: *“Não. Seria um só.”*

Prof.: *“Igual à representação do grupo 4?”*

A10: *“É.”*

Através dessa discussão, é possível inferir que a idéia apresentada pelo modelo do grupo 3 seria semelhante à apresentada pelo grupo 1. Esse modelo representou um modelo molecular para o NaCl, enfocando atração unitária entre íons de cargas opostas, como frisado pela fala de A10 apresentada anteriormente (*“e só com uma interação dos dois que se dá o sal de cozinha”* – se referindo a um íon positivo e outro negativo interagindo). Entretanto, considerando que eles não foram convincentes sobre porque utilizaram duas bolinhas para representar um átomo, parece que a representação usada por eles foi uma apropriação inadequada da idéia do grupo 4 (que será comentada no estudo de caso do grupo 4).

Esse grupo afirmou que a espécie mais estável era o cloreto de sódio, apresentando idéias semelhantes às do grupo 1 (em termos de não alteração macroscópica). Na discussão final desta atividade, a professora enfatizou que o cloreto

de sódio formado era menos energético do que os íons isolados, que os íons precisavam se ligar para diminuir o conteúdo energético e que isto acontecia quando eles formavam a substância.

Esse grupo não chegou a um consenso se o modelo deles para o cloreto de sódio sólido era capaz de explicar a elevada temperatura de fusão dessa substância. A10 disse explicitamente para a professora que o modelo do grupo dela não era capaz de explicar a elevada temperatura de fusão. A professora a questionou, pedindo uma explicação para esse julgamento. Ela, assim como A9 e A12, não conseguiu expor nenhum motivo. Durante a reformulação do modelo, a professora percebeu que eles estavam construindo um modelo para o cloreto de sódio líquido.

No início da aula seguinte, a professora solicitou que eles pensassem sobre o que ocorria durante o processo de fusão em termos energéticos e em termos das partículas presentes no sistema em estudo. Ela também enfatizou que, caso desejassem, poderiam propor um modelo para o cloreto de sódio líquido, mas que o importante era que eles pensassem sobre porque era necessário fornecer grande quantidade de energia ao cloreto de sódio sólido para se obter o cloreto de sódio líquido.

Durante as discussões desta atividade, A10 demonstrou grande interesse em compreender porque o açúcar carameliza e o sal não. Ela também lembrou que em dias úmidos o sal de cozinha fica cheio d'água. Nesse momento, A10 questionou a professora: *“Como é que no fogo não acontece isso e no dia frio acontece?”*

A professora ressaltou a confusão que A10 estava fazendo entre uma substância passar de sólido para líquido mediante aquecimento e, no outro caso, absorção de água pela substância sólida, tornando-a úmida³⁹. Para finalizar, ela lhe disse que eles seriam capazes de responder essas perguntas nas aulas seguintes.

Durante a elaboração do modelo do cloreto de sódio líquido, a professora observou que A10 (único componente do grupo que estava se empenhando, visto a ausência de A9 e A11 e a não concentração de A12 naquela aula) estava propondo um modelo incoerente, que não levava em consideração a atração entre íons de cargas opostas. A professora, então, a lembrou sobre isso, ressaltando que se tratava de uma das conclusões do grupo dela na aula anterior.

Durante a socialização das respostas, A10 disse para a turma que:

³⁹ Concepção alternativa muito freqüente entre alunos (Renstrom, Andersson, & Marton, 1990).

“O modelo para o sólido proposto pelo grupo não explicava o problema porque o modelo que explicava era o do líquido, que reformulamos”.

A10 disse que *“o modelo do grupo representava a mesma substância, porém na forma líquida, com mais espaço entre as partículas”*. A professora lhe questionou, novamente, sobre o motivo de o modelo para o cloreto de sódio sólido não explicar a elevada temperatura de fusão. A10 disse que *“no modelo anterior as partículas estavam muito juntas e que, nesse caso, não ocorria fusão”*.

Esse grupo terminou essa atividade concluindo que:

“O modelo representado após a temperatura de fusão de 808 °C passava a ser do líquido, com isso o modelo representado antes não estava na forma líquida e sim na forma sólida e por isso não explicava ... O modelo para o cloreto de sódio líquido explica porque apesar de conter as mesmas partículas, após a temperatura de fusão continua o mesmo, porém, mais separados por estar no estado líquido, e tem volume e forma variável”. (A9)

Portanto, na Atividade 6, esse grupo não compreendeu o que seria reformular ou modificar o modelo do cloreto de sódio sólido a partir da perturbação colocada (elevada temperatura de fusão). Eles apresentaram as idéias de conservação dos íons na forma líquida e maior espaçamento entre as partículas ao final do processo de fusão, ou seja, o modelo para a substância líquida. Assim, eles não responderam, de fato, o que a questão lhes solicitava.

Porém, a partir da análise dos dados empíricos fornecidos na Atividade 7, os alunos do grupo 3 compreenderam o sentido de modificar ou reformular um modelo. Isso porque eles foram capazes de modificar seu modelo anterior (do tipo ‘NaCl molécula’) para uma organização de íons que levava em consideração várias atrações entre íons de cargas opostas (ver figura 19).

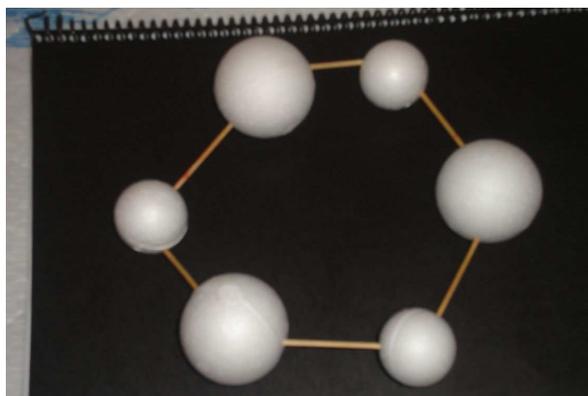


Figura 19. Modelo do grupo 3 para o cloreto de sódio sólido reformulado.

Esse modelo não representava o retículo num arranjo. Ele era delimitado e apresentava formato cíclico. Os alunos disseram que o modelo representaria uma unidade de NaCl, mas que na verdade o NaCl era constituído por várias daquelas unidades em interação umas com as outras. Para eles, todas essas interações eram do tipo atrações entre íons de cargas opostas, interatômica⁴⁰.

Esse grupo questionou a professora a respeito do formato dessa estrutura, indagando sobre a possibilidade de haver mais ligações para baixo ou para cima do plano do modelo deles (figura 16) ou, ainda, de haver várias unidades de NaCl semelhantes, umas interagindo com as outras (eles chamaram cada unidade de bloquinho). A professora lhes disse que para estabilizar cada íon seria necessário um certo número de ligações. Solicitou-lhes que supusessem que para o Na⁺ o número de ligações fosse 6, portanto, ele deveria estar ligado a seis íons Cl⁻. Com isso, eles poderiam pensar em ligações entre uma unidade de NaCl e outras que atendessem a esse número de ligações para a estabilização do íon.

Com relação à Atividade 8 (teste do modelo com intuito de explicar a temperatura de fusão do cloreto de sódio), esse grupo foi o único que não demonstrou dúvidas sobre a necessidade do modelo do NaCl ser uma rede para explicar a elevada temperatura de fusão:

Prof.: *“O modelo anterior explicava?”*

A9: *“Não, porque era só um par Na⁺Cl⁻.”* (figura 17)

Prof.: *“E quando vai romper esses bloquinhos (o modelo em rede de forma cíclica – figura 19), que você chamou, vai romper o quê, na verdade?”*

A9: *“As partículas, que são a união do Na⁺ com o Cl⁻.”*

A9: *“Ele vai transformar tirando essa atração.”*

Prof.: *“E no caso do líquido, essas partículas estão mais afastadas?”*

A9: *“Mais afastadas.”*

Prof.: *“E mesmo assim ainda existe interação?”*

A9: *“Existe.”*

Prof.: *“E vai continuar tendo a interação Na⁺Cl⁻?”*

A9: *“Vai, só que mais afastado.”*

⁴⁰ Essa palavra não foi usada pelo grupo, mas foi empregada aqui por contribuir para a interpretação dos dados.

Isto evidencia que, para A9, o modelo anterior do grupo (figura 17) não explicava o valor da temperatura de fusão do cloreto de sódio. Outro trecho de um diálogo em que A9 participou confirma essa afirmação:

Prof.: *“O que a A2G1 está perguntando é interessante. Será que com o par era 808 e com a rede é 808? Vocês vão ter que chegar a uma conclusão: qual dos dois que é?”*

A13G4: *“É o necessário para estar dissolvendo [sic], tanto faz você ter um par ou uma rede. Você vai usar o 808.”*

Prof.: *“É, mas sendo tão alto, será o par ou a rede?”*

A13G4: *“Ambos. Aquele valor ali é para montar o líquido.”*

A9: (Intervém mostrando seu modelo em rede e propondo uma explicação a A13G4): *“Quanto mais você vai tendo quantidades de componentes, você gasta mais energia e a temperatura aumenta. Um par não gastaria 808 não.”*

Nesse diálogo, ficou nítido que A9 pensava que era necessário gastar muito mais energia para separar os íons numa organização mais complexa (com mais ligações).

Através da análise do vídeo e da atividade escrita desses alunos, foi possível perceber que eles tinham a idéia de que o modelo molecular não explicava a elevada temperatura de fusão porque era necessário haver maior número de pares de íons interagindo que justificasse a energia gasta. No diálogo apresentado anteriormente, é possível perceber a confusão que esses alunos faziam entre rompimento da interação dos íons e quebra dos próprios íons. É possível pensar que o grupo utilizou a idéia de ‘quebrar os íons’ com o sentido de rompimento de interação entre os átomos, devido aos gestos empregados durante a manipulação do modelo para explicação da fusão através dos quais eles mostraram as partículas se afastando. Além dessa confusão, eles apresentaram a idéia de que a rede era mais energética quando explicaram que ela gastava mais energia para fundir do que o par. A professora deixou claro para esse grupo que a rede necessita de mais energia para a mudança de fase devido ao aumento do número de ligações entre átomos e que, por isso, era menos energética e, portanto, mais estável uma vez que, durante sua formação, ocorria estabilização dos íons através do estabelecimento de várias ligações entre íons de cargas opostas.

Em relação à avaliação da estratégia de ensino (Atividade 9), A9 e A10 reconheceram a validade da mesma para o aprendizado de ligação iônica. A10 afirmou que a reformulação dos modelos foi um aspecto essencial para o seu entendimento sobre

o modelo ser em par e não em rede. Para A9, através dos modelos concretos foi mais fácil entender o formato da rede e a necessidade de ser gastar muita energia para mudança de estado físico.

Elas reconheceram que a parte mais difícil do processo foi propor o modelo inicial para ligação iônica (Atividade 5) porque não tinham muita noção do que fazer, de quais materiais utilizar e de como justificar o modelo, mas que com os testes, apresentação dos outros grupos e ajuda da professora, a tarefa tornou-se cada vez mais tranqüila. A10 afirmou que nesse primeiro modelo o grupo deveria ter utilizado apenas uma bolinha para cada íon e um palito para conectá-las, mas que por não saberem o significado de cada material concreto nas representações tiveram dificuldades.

Segundo A10, o processo vivido em sala de aula se assemelhava em vários aspectos ao vivido pelos cientistas em função de, por exemplo, ter que pensar, repensar, discordar do colega e reformular modelos. A diferença, para ela, estaria relacionada aos materiais utilizados, porque os cientistas utilizam materiais mais sofisticados, enquanto na sala de aula eles partiram de materiais simples. A9 disse que a semelhança estaria relacionada à dúvida, porque *“não se tem certeza de como as coisas são feitas”*. Ela afirmou também que ao se repetir o processo por várias vezes pode se tornar mais fácil.

As alunas A9, A11 e A12 estiveram presentes em quase todas as aulas, enquanto o aluno A11 esteve presente em poucas aulas e, além disso, não fez a avaliação. As alunas A9 e A10 tiveram excelente engajamento em todas as aulas, discutiram muito entre elas e com a professora.

Através da avaliação de aprendizagem realizada pelos alunos desse grupo verificou-se que:

- a respeito do que seria a ligação iônica e de como uma substância iônica é formada, A9 apresentou as idéias de atração entre íons formando uma rede e de que a formação da rede levaria a uma situação de maior estabilidade, enquanto A10 se referiu apenas à atração entre íons de cargas opostas;
- A10 e A11 expressaram um modelo que demonstrou conhecimento sobre ligação iônica enfatizando partículas próximas e organizadas para a substância iônica no estado sólido;
- apenas A10 afirmou haver atração eletrostática nas substâncias iônicas nos estados sólido e líquido. A9 reconheceu essa atração apenas no estado sólido;

- em relação às associações feitas entre energia e mudança de estado físico, as alunas A9 e A10 associaram corretamente a alta temperatura de fusão à força da ligação iônica (interatômica);
- A12 não demonstrou nenhum conhecimento sobre ligação iônica, pois sua avaliação apresentava idéias totalmente incompreensíveis.

4.2. Análise do Estudo de Caso

Como no caso dos outros grupos, a análise do estudo de caso do processo de aprendizagem vivenciado por esse grupo possibilitou identificar a noção de modelos e a visão de ciências apresentadas pelos alunos, o que foi importante para perceber se tais idéias influenciaram no processo de modelagem para ligação iônica, como será evidenciado a seguir.

A9 conceituou modelo como tipo de alguma coisa, demonstração ou exemplo a ser seguido, aplicando essa idéia a alguns sistemas apresentados pela professora (carrinho, dissolução, desenho enfatizando mistura homogênea). Além disso, A9 fez uma distinção entre o conceito de modelo usado na ciência e no cotidiano, pois para ela o gráfico seria um modelo para a química (sem apresentar justificativa plausível) e a dissolução seria um modelo de acordo com a concepção cotidiana (tipo de mistura homogênea, ou seja, idéia de modelo como exemplo) e não para a química. Ela classificou alguns sistemas como modelo (molécula de água representada por bolas e varetas, fórmula química da água, mapa) afirmando que eram representações. Porém, em nenhuma justificativa ela evidenciou o fato de as representações serem parciais. Por um lado, isto parece indicar que para ela modelo poderia ser uma réplica da realidade. Por outro lado, a partir da discussão sobre mapas, parece ter ficado claro para ela que modelos apresentavam limitações.

Em relação à classificação dos exemplos, A10 apresentou idéias semelhantes a A9, com exceção da não classificação de dissolução como modelo. Contrariamente ao que foi expresso por A9, para A10 a dissolução era o próprio fenômeno.

Não é possível afirmar algo a respeito das concepções sobre modelo dos outros alunos desse grupo porque A11 faltou à aula da Atividade 1 e A12 não expressou uma concepção inicial sobre modelos que nos levasse a inferir algo sobre a coerência de suas classificações.

Em relação à Atividade 2, A9 e A10 afirmaram que o trabalho de investigação que haviam realizado se assemelhava ao vivenciado pelos cientistas em alguns aspectos: pesquisa, observação, evidências e elaboração de idéias. Elas utilizaram analogias para fazer paralelos entre o trabalho do cientista e o de um detetive na resolução de um quebra-cabeça. Analisando as respostas e a discussão da Atividade 2, não ficou claro se elas pensavam em observação como fonte direta de aquisição de conhecimento, pois parece que também pensaram sobre evidências como fonte geradora de conhecimento mediante raciocínio e relacionamento de idéias. Elas também disseram que o trabalho de cientistas não é feito em equipe. A9 apresentou concepções espontâneas corriqueiras no senso comum sobre a visão de cientistas, como pessoas que nascem com dons que os tornam melhor investigadores. Isso pode evidenciar que ela não pensava que os conhecimentos anteriores, as experiências passadas e o fator motivacional poderiam influenciar no trabalho de investigação.

Na Atividade 9, A9 e A10 apresentaram idéias diferentes sobre o trabalho dos cientistas, como o fato de eles conviverem com a dúvida, de repetirem um experimento várias vezes, de discordarem dos seus pares, de reformularem modelos. Além disso, elas enfatizaram mais o papel do raciocínio do que o da observação. Pode ser que o processo de ensino fundamentado em modelagem (principalmente a atividade da caixa, as discussões em grupo, a reformulação de modelos) tenha colaborado para modificações de algumas de suas idéias iniciais sobre a proposição dos modelos científicos.

Analisando o processo de ensino vivenciado pelo grupo 3, com foco nas Atividades 3, 4, 5, 6, 7 e 8, pode-se apontar a relevância das evidências experimentais fornecidas nas atividades de modelagem para a expressão de idéias prévias ou cotidianas dos alunos para explicar uma situação-problema.

Na Atividade 3, A10 demonstrou um conhecimento de reação de combustão, porém parece que o mesmo tinha caráter declarativo, uma vez que a aluna concluiu que o magnésio era o responsável pela liberação de energia, ou seja, não demonstrou a idéia de reação como rearranjo dos átomos, situação na qual há variação energética. A9, A11 e A12 demonstraram idéias substancialistas sobre energia (*"fogo libera CO₂"*, energia é um gás), concepções alternativas que podem ser advindas do senso comum (Souza, 2007) e estarem relacionadas à não compreensão sobre a natureza da luz e do espectro eletromagnético, discutidos brevemente em aulas anteriores, no ensino do modelo atômico de Bohr. A partir das evidências experimentais da Atividade 3, A10

demonstrou a idéia de que MgO era mais estável por não sofrer alterações visíveis ao ser aquecido, o que pode estar relacionado ao pensamento focado no nível macroscópico da matéria. Além disso, através dessas evidências foi possível relembrar e inserir idéias na tentativa de ajudar os alunos a modificar concepções alternativas e explorar ligação química tendo como foco a relação entre formação de uma substância e abaixamento de energia.

A primeira questão da Atividade 5 envolvia um experimento mental (dissolução do sal de cozinha) que foi importante por ressaltar como o pensamento dos alunos estava focado no nível macroscópico da matéria. Isso porque no modelo proposto (figura 17) houve confusão entre representações da matéria nos níveis sub-microscópico e macroscópico (grãos de sal semelhantes aos encontrados cotidianamente). Além disso, os alunos desse grupo representaram a 'substância cloro' de forma contínua, o que evidenciou falhas na compreensão do modelo de partículas. A não representação dos íons Na^+ e Cl^- nesse modelo pode também ser um indício da não total compreensão de modelo de partículas e dos objetivos da Atividade 4 (elaboração de modelo para formação de íons envolvidos na constituição do sal de cozinha). Ademais, o modelo produzido nessa questão possibilitou à professora constatar novamente as confusões relativas aos conceitos de mistura e substância, que haviam sido apresentados na Atividade 3. Nessa atividade, A10 demonstrou a idéia de substância composta como mistura de átomos e no modelo para a questão 1 da Atividade 5 (figura 17) a idéia de que na mistura os átomos das substâncias estariam ligados, ou seja, misturados uns aos outros. Essa constatação possibilitou à professora uma nova oportunidade para distinguir esses conceitos, com o intuito de torná-los mais claros aos alunos.

A recapitulação do conceito de solubilidade realizado pela professora e a discussão de que não haveria outra forma (diferentemente de Cl^-) para encontrar o átomo de cloro na mistura devem ter sido importantes por facilitar a proposição do modelo inicial para ligação iônica (figura 18) a partir da solicitação da segunda questão da Atividade 5, que também envolvia um experimento mental (como ficam as partículas constituintes do sal após evaporação da água). Isso porque no modelo 'NaCl molécula' os alunos retrataram apenas os íons Na^+ e Cl^- . Além disso, na proposição desse modelo os alunos demonstraram um conhecimento tácito sobre força coulombiana, ao afirmarem que a interação era devido ao fato de os átomos serem íons de cargas opostas.

Nas discussões, a professora buscou explorar as idéias que os alunos apresentavam sobre o modelo de partículas, por exemplo, nas representações adotadas no modelo 'NaCl molécula' a professora verificou incoerências que poderiam estar relacionadas ao fato de os alunos pensarem que os elementos químicos Na e Cl são compostos, cada um, por dois átomos distintos. Isto resultou, por exemplo, em os alunos deste grupo reconhecerem que na elaboração do modelo 'NaCl molécula' eles tinham se apropriado da idéia de representação utilizada pelo grupo 4, mas que seu modelo poderia ser semelhante ao do grupo 1 (uma bolinha para cada íon). Uma justificativa para a apropriação desta idéia foi apresentada por A9 e A10 ao reconhecerem, na Atividade 9, que o mais difícil para elas no processo de modelagem foi a proposição do modelo inicial (Atividade 5).

É importante também destacar que o questionamento da professora sobre as representações adotadas no modelo 'NaCl molécula' (Atividade 5) e o reconhecimento de limitações só foi possível devido à possibilidade de expressão concreta do modelo, o que favoreceu a explicitação de outros aspectos que não seriam expressos verbalmente.

Os dados empíricos da Atividade 7 conduziram os alunos deste grupo à reformulação do modelo 'NaCl molécula', processo que culminou com a proposição de um modelo em rede (figura 19). Além disso, a análise desses dados possibilitou a retomada de idéias discutidas na Atividade 3 e evidenciou a relevância de se trabalhar com dados numéricos de energia envolvida na formação de pares iônicos e rede iônica como facilitador da aprendizagem da relação entre maior liberação de energia e estabilidade. Na Atividade 5, os alunos não tinham sido capazes de correlacionar mais estabilidade com abaixamento de energia, diferentemente do ocorrido na Atividade 7, na qual o grupo foi capaz de justificar coerentemente a proposição de um modelo em rede e questionar a professora sobre quantas ligações cada íon deveria realizar para se estabilizar.

A possibilidade de o modelo da Atividade 7 ser representado concretamente possibilitou ao grupo pensar e questionar a professora sobre o formato da rede, o que contribuiu para que ela apresentasse tal aspecto do modelo curricular⁴¹. As variadas representações de modelos concretos foram um fator positivo, pois as mesmas

⁴¹ A professora disse que os modelos dos grupos evidenciavam um aspecto central – atração entre íons de cargas opostas em rede – mas que eles não sabiam qual era o formato da rede, pois não tinham dados para tal. Entretanto, enfatizou que nenhum modelo poderia ser considerado errado por causa disso.

facilitaram a visualização dos modelos e, conseqüentemente, a compreensão dos alunos deste grupo sobre o modelo cúbico de face centrada (idéia do modelo curricular apresentada na discussão final), mesmo com a fórmula do NaCl remetendo à proporção 1:1.

O dado empírico fornecido na Atividade 8 serviu como teste e dado confirmatório da idéia de modelo em rede, desenvolvida pelos alunos deste grupo na Atividade 7. Além disso, possibilitou a emergência de concepções alternativas, como a de dissolução ser sinônimo de fusão.

Na Atividade 9, esse grupo reconheceu a importância dos dados para modificação dos modelos. Para esses alunos, a possibilidade de reformulação dos modelos foi o aspecto do processo de ensino mais importante para o aprendizado.

A expressão de idéias prévias foi importante para a professora perceber as concepções alternativas dos alunos e para retomar ou inserir conceitos. Em algumas atividades da estratégia, era esperado que o aluno utilizasse certos conhecimentos prévios discutidos no mesmo ano escolar, o que às vezes não ocorreu. Por exemplo, era esperado que os alunos demonstrassem conhecimento sobre distribuição eletrônica e formação de íons relacionando isso com os dados da Atividade 4. Isto não foi observado inicialmente neste grupo. Porém, através da retomada de conceitos anteriores por meio da discussão com a professora e dos dados fornecidos na Atividade 4, esses alunos tiveram nova oportunidade de compreender melhor a distribuição eletrônica e energia de ionização de acordo com o modelo de Bohr.

Os questionamentos, sugestões e intervenções da professora em momentos adequados parecem ter sido essenciais no favorecimento da aprendizagem dos alunos. Isto foi observado, por exemplo, quando ela sondou idéias não expressas claramente, como na apresentação do modelo 'NaCl molécula', ao explorar a idéia de 'união de Na⁺ e Cl⁻'.

As discussões finais promovidas pela professora em todas as atividades foram primordiais para recapitulação e exploração de idéias dos alunos deste grupo. Um exemplo foi a discussão da Atividade 8, quando a professora associou o significado de 'quebra das ligações' com diminuição da intensidade das forças atrativas a fim de que os alunos não desenvolvessem a idéia de quebra como algo físico.

Em relação à avaliação final de conteúdo, foi verificado que os alunos com maior engajamento cognitivo no processo de modelagem foram os que expressaram

idéias coerentes sobre o modelo para substância iônica. Assim, A12, que esteve ausente em uma aula, não apresentou idéias compreensíveis em sua avaliação, ao contrário de A9 e A10, que tiveram grande participação nas atividades.

No decorrer das atividades, A9 foi modificando suas idéias iniciais em direção às idéias científicas. Os exemplos mais significativos foram observados nas Atividades 7 e 8 – reformulações dos modelos – destacados pela aluna como os mais importantes para seu aprendizado. Na Atividade 5, essa aluna apresentou o pensamento mais focado nos aspectos visuais do fenômeno e visão contínua da matéria. Porém, a partir das discussões ocorridas em cada aula e da análise dos dados fornecidos na Atividade 7, o grupo 3 foi capaz de propor explicações com maior enfoque ao nível sub-microscópico, ao elaborar um modelo em rede para o cloreto de sódio. A9 teve participação ativa na proposição dessas explicações, ao ser capaz de justificar corretamente o modelo reformulado relacionando o aumento das atrações entre os íons a um abaixamento de energia. Isso se refletiu na Atividade 8, em que seu grupo foi o que afirmou com maior convicção o fato de a organização para o cloreto de sódio em rede ser capaz de explicar a elevada temperatura de fusão da substância, relacionando ao rompimento de ligação interatômica. As idéias de modelo em rede, estabilidade devido a abaixamento de energia e rompimento de ligação interatômica desenvolvidas pela aluna no processo de ensino foram observadas em suas respostas na avaliação. A9 não demonstrou conhecimento sobre o fato de a força eletrostática ser de menor intensidade no estado líquido do cloreto de sódio em relação ao estado sólido da substância. Possivelmente, isso se deveu a uma compreensão ainda superficial de força eletrostática, no que diz respeito à relação entre diminuição dessa força em função da distância entre as cargas. O fato de esse grupo não ter construído um modelo concreto para o cloreto de sódio líquido pode ter influenciado nesse conhecimento, visto que A9 se referiu aos modelos concretos como essenciais ao seu entendimento na Atividade 9.

Inicialmente, as idéias cotidianas sobre modelo de A9 podem ter influenciado nas atividades iniciais da estratégia de ensino, principalmente, na Atividade 5. Porém, as discussões com o grupo sobre o significado das representações adotadas em seus modelos tiveram papel fundamental na modificação das idéias de A9 (aspecto reconhecido por ela na Atividade 9), pois na Atividade 7 não se verificou incoerências relativa às representações adotadas nos modelos. As idéias de modelo de A9 parecem ter sido ampliadas através da estratégia de ensino, porque a aluna foi capaz de

questionar sobre as interações que os íons poderiam efetuar no cloreto de sódio e utilizar o modelo concreto para explicar a outros grupos sobre a influência do aumento do número de pares no processo de fusão. Isso indica uma ampliação de sua compreensão sobre as funções explicativa, comunicativa e de visualização de modelos. Além disso, essa aluna pode ter concebido a possibilidade de existência de vários modelos para um mesmo sistema enfocando aspectos distintos, quando ocorreu o estabelecimento de um modelo consensual para a turma e apresentação do modelo curricular, uma vez que participou ativamente dessas discussões.

A10 apresentou trajetória semelhante a A9 nas atividades de modelagem. Portanto, as descrições feitas para A9 no parágrafo anterior se aplicam a A10. Além disso, a aluna teve rendimento semelhante ao de A10 na avaliação. A diferença foi ela ter sido capaz de conceber que a força eletrostática existente entre as partículas no cloreto de sódio no estado sólido deveriam ser mais intensas do que no estado líquido, o que evidencia uma boa compreensão do modelo de partículas e de força eletrostática.

Na Atividade 4, A10 pensou que fosse possível fazer um experimento empírico para ver a formação do cloreto de sódio a partir de átomos neutros e que a partir disso poderia modelar o experimento relativo a obtenção da substância. A concepção da aluna estaria relacionada à idéia de modelo como um desenho do fenômeno enfocando aspectos macroscópicos, o que evidencia não compreensão da função de modelos como facilitadores do entendimento do que ocorre com a matéria ao nível sub-microscópico. Isso pode ser um indício de que na Atividade 2, ela acreditava que a elaboração de modelos e a produção de conhecimentos originavam-se de observações. Porém, através de seu envolvimento com as atividades da estratégia, é provável que o entendimento de que modelos podem ser facilitadores na compreensão de fenômenos abstratos e de que observações não sejam fonte direta de obtenção de conhecimentos tenha sido desenvolvido, visto que ela foi capaz de utilizar modelos com essa função e enfatizar o papel das reformulações como centrais ao aprendizado. Ademais, a necessidade de se ter um objetivo para a construção de modelos pode ter ficado claro para ela através das discussões ocorridas na Atividade 1, como observado em sua fala na Atividade 4. Isto foi evidenciado por sua participação na confecção e reformulação de modelos ao longo das atividades da estratégia.

A12, apesar de estar presente na maioria das aulas, participava pouco, o que pode ser uma causa de seu baixo desempenho na avaliação final.

5. GRUPO 4

5.1. Estudo de Caso

Ao analisarem a tirinha apresentada na Atividade 1, A13 e A14 interpretaram o conteúdo semântico da mesma e não a idéia de modelo implícita. Sobre o que pensavam ser modelo, A13 respondeu que *“é tudo aquilo que tem forma, e que você pode representar algo, concreto ou não, imaginário e que não pode ser visto”*. Ela também se referiu ao fato de o globo terrestre não poder representar tudo e, por isso, apresentar limitações. Prosseguindo a discussão sobre modelos, A13 citou como exemplo o fato de se utilizar modelos computacionais para se fazer previsão de furacões. A14, por sua vez, empregou uma idéia cotidiana sobre modelo: algo a ser seguido.

Para A13 e A14, o carrinho de brinquedo era um modelo por ser um protótipo de um carro real, em que através do modelo se cria o original.

A representação em bolas e varetas para a molécula de água foi considerada por elas como modelo, por representar algo que não pode ser visto. A13 ressaltou o fato de não se ter certeza de que a água pode ser representada como no modelo mostrado pela professora: *“é a representação, é como se imagina que seja a molécula de água”*. A13 e A14 discordavam de que a fórmula fosse modelo, justamente por ser a fórmula química da água. A professora ressaltou que aquela era outra maneira de representar a molécula de água que tinha a função, por exemplo, de destacar a proporção entre os átomos.

Para elas, a dissolução não era modelo, porque era o próprio fenômeno. O desenho enfatizando mistura homogênea foi considerado como modelo para o grupo. A13 disse que se a professora não trouxesse o experimento para a sala, poderia desenhá-lo, servindo de modelo para a dissolução. O desenho representando as partículas foi considerado como modelo por elas, por representar as ‘moléculas’ da mistura.

O gráfico foi considerado como modelo por A13 e A14 porque através da inclinação se tinha noção do movimento. A fórmula foi considerada por A13 como modelo, por ser *“um modelo de uma fórmula para resolver um problema”*.

Elas consideraram o mapa como modelo por ser “*um modelo para se localizar*” (A13) e por “*representar cidades, países etc*” (A14). De acordo com A13, cada mapa é utilizado de acordo com seus objetivos de localização, sendo assim, um mapa de capitais brasileiras não é o melhor para se saber a distância entre cidades de Minas Gerais, mas mesmo assim não pode ser considerado um mau modelo.

Na realização da Atividade 2, os alunos deste grupo observaram algumas características do objeto contido na caixa (peso, som, movimento, atração por imã). Através dessas observações, eles concluíram que na caixa havia, na realidade, dois objetos com características diferentes quanto às propriedades investigadas. Na proposição e apresentação do modelo, eles foram coerentes com suas observações.

Para A13 ficou claro o motivo da não abertura da caixa após a professora comentar sobre o trabalho de investigação e proposição de modelos na ciência. Para ela, o trabalho dos cientistas sempre parte de um referencial e muitas vezes eles criam na mente a explicação para algo, mesmo sem experimentar na prática. A14, por sua vez, não se contentou com as justificativas da professora e de outros colegas e insistiu, durante todas as aulas da estratégia, para que a caixa fosse aberta, pois, para ela, o importante era acertar o objeto que estava dentro da caixa. Isso, inclusive, foi enfatizado por A14 na aula de avaliação do processo de ensino (Atividade 9), ao afirmar que não saber o que havia dentro da caixa havia sido a parte mais difícil do processo.

Nas discussões iniciais da Atividade 3, quando a professora indagou os alunos com algumas perguntas (ver descrição das aulas), A13 e A14 afirmaram que se uma panela de ferro com água fosse colocada para ser aquecida em um fogão caseiro, a água evaporaria e a panela iria fundir, dependendo da espessura do ferro. Se o ferro fosse bem espesso, iria depender do período de exposição: se fosse um dia inteiro não “derreteria”, mas durante uma semana ocorreria a fusão do material.

Durante a realização da Atividade 3, a aluna A13 questionou a professora se, com a queima, o magnésio liberava luz e oxigênio. A professora a questionou sobre o magnésio poder conter oxigênio, visto que se tratava de uma substância simples. Além disso, questionou-a sobre a origem do oxigênio na formação do óxido, que seria um resultado da queima. Com essas indagações, A13 concluiu que o oxigênio vinha do ar e que ele tinha se combinado com o magnésio através de uma reação química na qual “*um novo elemento químico*” (se referindo ao óxido) teria sido formado. Apesar de

reconhecer a validade da idéia expressa pela aluna, a professora discutiu os significados de elemento e de substância, a fim de que ela expressasse suas idéias de maneira mais adequada. Durante essa discussão, A13 questionou a professora sobre fenômenos físicos e químicos e sobre reversibilidade e irreversibilidade de fenômenos químicos. A professora lhe informou que o experimento que haviam realizado se tratava de um fenômeno químico e irreversível, mas que nem todos os fenômenos químicos seriam irreversíveis.

Houve pouca participação desse grupo na segunda aula de realização da Atividade 3, pois as alunas A13 (a que interagiu mais) e A15 não estavam presentes.

Para A14, o aparecimento de luz quando o magnésio foi aquecido indicava a energia liberada, que seria uma radiação eletromagnética. Segundo essa aluna, quando o magnésio entrou em contato com o oxigênio, sofreu uma combustão, transformando-se em outra substância.

Sobre a necessidade de fogo na transformação de magnésio em óxido de magnésio, essa aluna a explicou dizendo que o fogo liberava gás carbônico e, por isso, a reação de combustão ocorria. Provavelmente, tal idéia se originou das discussões dela com os componentes do grupo 3 (observadas em alguns momentos no vídeo, mas sem registro de áudio), pois não tem relação com a idéia apresentada anteriormente, do contato do magnésio com oxigênio, um processo de combustão. Assim, essa aluna poderia ter se apropriado da idéia do grupo 3, por não ter convicção de sua explicação anterior. A professora ressaltou a A14 que o fogo era fonte de energia para a combustão ocorrer. Com base nisso, e na intervenção de alunos dos grupos 1 e 3, ela conseguiu pensar na questão 4 afirmando que, com a ausência do fogo, a transformação ocorreria com algum tipo de descarga elétrica, ou através da energia fornecida pelas pilhas da máquina fotográfica.

Com relação à substância mais estável (magnésio ou óxido de magnésio), A14 apresentou a idéia inicial de que o óxido de magnésio era o menos estável, com explicações semelhantes às apresentadas por A9G3 (*“substância que não pegou fogo”*). Ao discutir com o grupo 3 sobre esse aspecto (ver estudo de caso do grupo 3), a professora também chamou atenção de A14 para esse aspecto. Durante a socialização das respostas e em sua atividade escrita, A14 expressou a idéia de que o óxido de magnésio era o mais estável por continuar com o mesmo aspecto após ser queimado,

idéia que permaneceu após a discussão dela e dos componentes do grupo 3 com a professora.

Com relação à Atividade 4, A14 pensava que fosse possível fazer um experimento prático no qual ela pudesse ver a formação do cloreto de sódio a partir dos átomos de sódio e cloro, assim como a aluna A10G3 (ver estudo de caso do grupo 3).

Durante a recapitulação de conhecimentos prévios necessários para a realização da Atividade 4, A14 demonstrou muitas dúvidas sobre os conceitos de átomo neutro e íons:

A14: *“Tem a ver com isso aqui?”* (se refere à questão 1 apresentando à professora a representação do modelo de Bohr)

Prof.: *“Tem a ver. Isso é a representação de acordo com Bohr. Mas na questão 1 eu quero que vocês falem no geral, quem forma íon positivo e negativo, não específico para um ou outro.”*

Prof.: *“... quando eu forneço energia, energia de ionização, é para retirar elétrons. Se eu vou retirar elétrons desse átomo eu formo íons positivos. Mas como é o valor dessa energia, alto ou baixo?”*

A14: *“Para tirar é alto.”*

A8G2: *“Para retirar elétrons tem que ser mais baixo.”*

Prof.: (Concorda com A8).

A13: *“Na última camada você tem 6 elétrons é mais fácil ganhar dois do que perder os 6. Recebe 2 e completa 8 na última camada.”*

Prof.: *“E isso aí que você sabe tem a ver com a energia de ionização?”*

A13: (Fala algo a respeito de energia de ionização negativa, mas que não foi entendido através do vídeo.)

Prof.: *“Existem valores altos e baixos, mas não negativos. Tem algum valor aí na tabela negativo?”*

A13: *“Não.”*

Como evidenciado neste diálogo, as dúvidas acima mencionadas influenciaram, inicialmente, as idéias dos alunos deste grupo sobre energia de ionização.

Os componentes do grupo estavam fazendo a distribuição dos elétrons em níveis de energia para cada átomo ao resolverem a questão 1 da Atividade 4. A professora solicitou que eles pensassem no geral, em como íons positivos e negativos eram formados. Ela apresentou, ainda, algumas perguntas que tinham como objetivo fazê-los

pensar na importância de se conhecer os valores de energia de ionização, como evidenciado em:

“ ... quando eu forneço energia, que é a energia de ionização, é para retirar elétrons. Se eu vou retirar elétrons desse átomo, eu formo íons positivos. Mas como é que deve ser o valor dessa energia, alto ou baixo?”.

Inicialmente, A14 disse que os valores para formar íons positivos tinham que ser altos. A8G2 interviu na discussão, informando que os valores não poderiam ser altos, pois se a espécie perde elétrons é porque deve ser favorável perdê-los, isto é, a energia a ser fornecida deveria ser baixa. A professora concordou com ele. A13 falou a respeito de energia de ionização negativa. A professora solicitou que A13 observasse bem os valores da tabela, pois não havia nenhum negativo e que isso era incoerente, pois a energia era algo fornecido ao átomo por uma fonte externa.

A13 apresentou em mais de uma situação a idéia de que a formação de íons era explicada por ‘completar as camadas’ (como evidenciado no diálogo anterior e em sua atividade escrita). Visando dar mais elementos para que a aluna pudesse modificar suas idéias, a professora solicitou a ela que tentasse explicar porque isso era verdadeiro e que pensasse na energia de ionização. Após os alunos deste grupo discutirem mais entre si (fato observado no vídeo, mas sem registro em áudio), A13 conseguiu desenvolver mais suas idéias, como:

“O Na vai ficar Na^+ . Ele é mais estável porque tem sua última camada completa e o núcleo precisa exercer menor força para atrair os elétrons já que ficam só duas camadas.” (A13)

Apesar de essa idéia estar incorreta, percebe-se que ela começou a raciocinar sobre a atração que o núcleo exercia sobre os elétrons para justificar a estabilização de acordo com o octeto.

Esse grupo conseguiu concluir que os íons mais estáveis seriam o Na^+ e o Cl^- . Tal conclusão foi atingida, primeiramente, utilizando a distribuição eletrônica e, em um segundo momento, após serem estimulados pela professora a pensar sobre o relacionamento entre estabilidade e energia de ionização. Nesse momento, eles apresentaram idéias interessantes como, por exemplo, intensidade da força de atração do núcleo sobre os elétrons e a energia alta ou baixa necessária para retirá-los; e grande quantidade de energia ao se retirar elétrons de outro nível energético do Na^+ . Tais idéias

foram bastante úteis para a discussão com os outros grupos, como evidenciado no diálogo a seguir e nos estudos de caso dos grupos 1 e 3.

A13: “Então quem tem energia de ionização baixa é mais fácil de perder elétrons.” (Concluindo sobre a questão 1 da Atividade 4)

Prof.: “Certo, o átomo que tem energia de ionização baixa, tem mais tendência a perder elétrons.”

Prof.: “Então os elementos dessa tabela que têm baixa energia de ionização terão tendência a perder elétrons com facilidade. Se ele perder elétrons, ele se torna uma espécie positiva ou negativa?”

Alunos: “Positiva.”

Prof.: “Mas e se fosse retirar os elétrons do outro nível?”

A13: “Tem salto de energia.”

Prof.: “Qual o íon mais estável formando a partir do átomo de cloro neutro?”

A2G1: “Cl¹⁻.”

Prof.: “Por quê?”

A2G1: “Porque ele vai ganhar.”

Prof.: “Dá uma olhada na tabela. Por quê?”

A13: “Energia de ionização é mais alta.”

A13: (explicando a A2G1) ... “Ele vai gastar muito mais energia para tirar os 7 (elétrons).”

Com relação à questão 1 da Atividade 5 (modelo para dissolução do sal de cozinha em água), esse grupo, primeiramente, pensou num modelo misto, que representava o sistema tanto macroscópica quanto sub-microscopicamente. Isso porque eles representaram alguns íons como bolinhas dentro de uma solução azul (talvez eles tivessem idéias concomitantes de matéria contínua e descontínua). A professora solicitou que eles representassem a mistura macroscopicamente ou sub-microscopicamente. Dessa forma, eles fizeram as duas representações separadas para a mistura (figura 20).

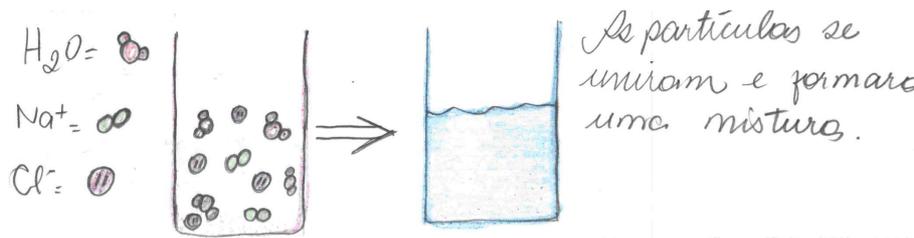


Figura 20. Modelo do grupo 4 para a dissolução do sal de cozinha.

Eles representaram a molécula de água e os íons Na^+ e Cl^- em um recipiente, sem enfatizar a existência de algum tipo de interação entre os íons ou com a água, apenas mostrando as partículas dispersas. Como observado na figura 20, eles representaram o íon Na^+ por mais de uma bolinha. Posteriormente, eles representaram o sistema final, que para eles seria uma mistura homogênea, em que “*as partículas se uniram e formaram uma mistura*”.

O modelo proposto para o sistema após a evaporação da água pode ser visto na figura 21.

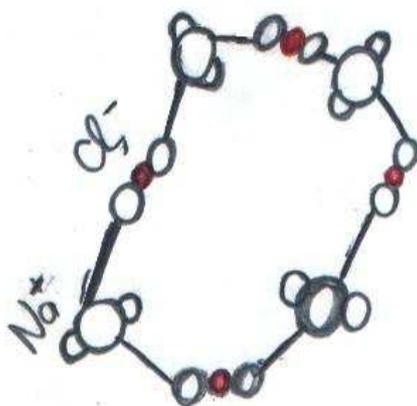


Figura 21. Modelo do grupo 4 para o cloreto de sódio.

Nesse modelo, tanto o íon Na^+ quanto o íon Cl^- são representados por mais de uma bolinha e o modelo é apresentado em forma cíclica. Esses alunos disseram que adotaram essa representação, ao invés de simplesmente uma bolinha para cada átomo, para ajudar na visualização do modelo. A seguir, é apresentada a transcrição das discussões iniciais sobre o modelo desses alunos:

Prof.: “Então isso aqui é Na^+ . E esse daqui é Cl^- ?”

A13: “Não. É ele todo.”

Prof.: “Isso tudo aqui é Na^+ . E esse aqui (referência às bolinhas que poderiam representar o Cl^-)?”

A13: “Ele todo é Cl^- .”

Prof.: “Porque vocês colocaram essa massinha aqui (referindo-se à bolinha vermelha)? É outro átomo ou são os mesmos?”

A13: Não, tudo é Cl^- .

Prof.: “Ah, tá. Então isso aqui é um conjunto Na^+ , conjunto Cl^- . Outro Na^+ , outro Cl^- .”

Prof.: “E os pauzinhos, palitinhos? Significam o quê?”

A13: “É o que sobrou dele. São os íons.”

Prof.: “Mas você está ligando um Na^+ no Cl^- , Na^+ , Cl^- . Por que vocês estão ligando assim?”

Prof.: “Olha só, vocês tem que pensar o seguinte: como os íons interagem? Então significa que o Na^+ vai interagir com o Cl^- .”

A13: “ Na^+ vai juntar com Cl^- . Vão se ligar.”

Prof.: “Então a varetinha...”

A13: “Ligação.”

Prof.: “O palitinho significa ligação.”

Prof.: “E por que tem essa ordem? Na^+ , Cl^- , Na^+ , Cl^- ?”

A13: “Não tem como você ligar ao mesmo elemento.”

Prof.: “ Na^+ , Na^+ ; Cl^- , Cl^- ?”

A13: “É”.

Prof.: “Como seria juntar um com o outro?”

A14: “Seria a interação que é do íon positivo com o negativo?”

Prof.: “Sim.”

Por ser o modelo desse grupo visualmente bastante diferente do modelo dos demais, ele despertou a atenção de componentes de outros grupos, como A1G1 que questionou o fato de o modelo do grupo dela ser tão diferente do modelo do grupo 4, na tentativa de saber qual modelo era o correto. A professora enfatizou que poderiam existir vários modelos e que o que importava eram as características coerentes que cada um representava. Durante a discussão com a turma, A1G1 questionou A13 sobre a representação usada para cada átomo no modelo. A justificativa apontada por A13 seria o fato de o modelo ajudar na visualização:

A13: “É só para ficar mais visível, não quer dizer que esse sim seja o modelo (correto). Esse aqui seria o Cl^- e esse o Na^+ . Esses intervalos aqui mostram que eles estão fazendo ligações.”

Prof.: “No modelo de A1G1, o Cl^- é representado só por uma esfera, assim como o Na^+ .”

Prof.: “Então A13, por que você representou assim?”

A13: “Só para a visualização.”

A13: *“Poderia ser igual aquele lá (se refere ao modelo apresentado na figura 6). Um vermelhinho desse (se refere ao Na^+) e outro desse (se refere a bolinha branca para o Cl^-), um pra cada um.”*

A1G1: *“Mas aí está parecendo que tem um tanto de átomos.”*

A13: *“Não.”*

A13: *“Se você perceber, nesses intervalos aqui não tem nenhum ligado ao outro que seja igual (figura 21). Eles são diferentes. Nenhum liga com o mesmo conjunto. O conjunto é o átomo como um todo.”*

Durante a realização dessa atividade, esses alunos demonstraram maiores dificuldades apenas na questão referente à estabilidade da substância formada em relação aos seus constituintes iniciais. A fim de ajudá-los, a professora solicitou que eles pensassem em uma discussão semelhante que havia ocorrido na Atividade 3. Como apenas a aluna A14 esteve presente nessa discussão, a solicitação da professora não fez muito sentido para os outros componentes do grupo. Além disso, A14 não conseguiu contribuir com algum conhecimento sobre esse aspecto.

Durante a socialização das respostas, A13 respondeu que:

“A interação dos íons são ligações iônicas. Isso é por causa da diferença das cargas positivas e negativas que ocorre devido à força de atração entre os opostos”.

Essa aluna utilizou o termo ‘ligações iônicas’ sem que ele tivesse sido comentado em momento algum durante o processo de ensino.

Ainda em relação à estabilidade, também durante a socialização das respostas, eles disseram que o mais estável seria o que não sofre mais transformação, que continua a ser a mesma substância, portanto seria o cloreto de sódio, como ilustrado pela resposta de A13:

“Quando você tem cloreto de sódio sólido e coloca a água ele vai se separar nos íons, mas se a água evapora, ele volta a ser o cloreto de sódio.”

O modelo desse grupo não representava um modelo do tipo ‘ NaCl molécula’. Porém, esses alunos ainda não tinham explicações mais elaboradas que justificassem o fato de os íons poderem se ligar mais vezes uns com os outros. Vale ressaltar que eles (i) consideravam que todas as ligações eram entre íons; (ii) não informaram à professora sobre a possibilidade da existência de ligações entre os íons de cargas opostas para cima ou para baixo do plano representado no modelo deles (figura 21) e (iii) não comentaram

sobre a possibilidade de existir várias unidades iguais interagindo umas com as outras por algum tipo de interação.

Esse grupo chegou à conclusão de que o modelo deles para o cloreto de sódio sólido era capaz de explicar a elevada temperatura de fusão desta substância na Atividade 6. A transcrição a seguir demonstra uma justificativa para essa afirmação:

Prof.: “Esse daqui é o modelo do sólido do grupo 4 (figura 21), sem reformulação. Você acha que ele explica a temperatura de fusão elevada?”

A13: “Explica.”

Prof.: “Então não precisou de reformular o modelo para o sólido?”

A13: “Não, ele pode ficar assim.”

Prof.: “Tá, mas explica: por quê?”

A13: “Porque o modelo tem mais de um componente e mais de um tipo de átomo.” (Mais de um componente no modelo (ver figura 19) seria mais de um conjunto de átomos Na^+ e Cl^- se ligando).

Prof.: “E o que acontece na fusão?”

A13: (Mostra no modelo o rompimento das ligações entre Na^+ e Cl^- com gestos.) “Isso aqui fica mais separado. Vai quebrar essas ligações.”

Prof.: “Gente, para A13 isso aqui (refere-se ao modelo – figura 21) explica a temperatura de fusão porque vão ser rompidas algumas ligações entre átomos e vai ficar assim (mostra o modelo do líquido construído pelo grupo 4 – ver figura 22).”

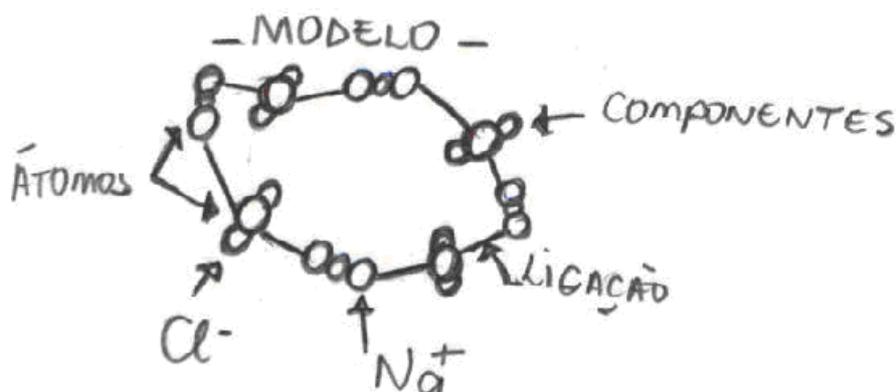


Figura 22. Modelo do grupo 4 para o cloreto de sódio evidenciando os componentes.

O grupo 4 deixou claro que várias ligações interatômicas eram rompidas, pois no modelo havia mais de um par Na^+Cl^- (“que seria mais de um componente”). Na

apresentação do modelo para a turma, eles expressaram isso através de gestos, mostrando a separação entre os átomos do modelo.

Apesar de os alunos do grupo 4 afirmarem que seu modelo para o cloreto de sódio sólido era capaz de explicar o valor elevado da temperatura de fusão e que, portanto, ele não precisaria ser modificado ou reformulado, eles construíram um modelo para o cloreto de sódio líquido (figura 23). Este modelo foi representado por eles na questão 2 da Atividade 6 (que solicitava um modelo reformulado, caso o modelo anterior não fosse capaz de explicar a elevada temperatura de fusão para o cloreto de sódio).



Figura 23. Modelo do grupo 4 para o cloreto de sódio líquido.

Como evidenciado na figura 20, esse modelo para o cloreto de sódio líquido se assemelha a um modelo de partículas para uma substância líquida, mas sem a preocupação em representar a atração entre os íons de cargas opostas. Na justificativa desse modelo, eles afirmaram que:

“Depois que o Cl^- e Na^+ entrou no estado de temperatura de fusão elevado [sic], os átomos ficaram mais separados.”

Eles não afirmaram que existia atração entre os íons no estado líquido; mas simplesmente que as partículas ficavam mais separadas umas das outras. A professora, então, os questionou sobre as representações adotadas na confecção do modelo para o cloreto de sódio líquido:

A13: *“Aqui no sólido eles estão mais juntos e aqui no líquido mais separados.”*

Prof.: *“Beleza. E você colocou o mesmo tanto de átomos que tinha aqui ali.”*

A13: *“Você quer dizer se eu for contar todas as bolotinhas que tem aqui se tem aqui também?”*

Prof.: (conta os átomos e verifica a não correspondência)

A13: *“Isso é para o modelo ficar melhor, ajudar na visualização.”*

Prof.: *“Eu entendi que o modelo fica mais visível, mas olha só, você sabe que nesse caso há conservação do número de partículas, né?”*

A13: *“É. Mas se eu fizesse assim (se referindo ao modelo para o líquido conservando o número de partículas do sólido) ficaria muito pequeno.”*

Conforme evidenciado no diálogo acima, para responder ao questionamento feito pela professora, A13 apresentou novamente a idéia de que o modelo para o líquido foi confeccionado daquela maneira para ajudar na visualização.

Esse grupo utilizou algumas vezes os termos energia, calor e temperatura confusa e indistintamente como, por exemplo, quando eles responderam que *“o Cl^-Na^+ entrou no estado de temperatura de fusão elevado”*. Sempre que a professora observava a utilização confusa desses termos, ela chamava atenção dos componentes do grupo, indicando qual seria a maneira mais adequada de eles se expressarem.

Na Atividade 7, os alunos do grupo 4 representaram um modelo para o cloreto de sódio sólido (figura 9) diferente do anterior (figura 21), para eles um modelo modificado.

Nesse caso, eles representaram cada átomo por apenas uma bolinha, e justificaram a escolha dizendo que a bolinha maior era para identificar o cátion e a bolinha menor, o ânion. O modelo não era mais delimitado porque *“as ligações estão em aberto para mostrar que as ligações são infinitas”*. Além disso, para eles o modelo era uma modificação do anterior *“para mostrar que as ligações estão interagindo, deixando em aberto vários pontos para uma nova ligação.”* A idéia de que as ligações eram infinitas vinha do fato de eles pensarem que cada íon não se estabilizava com uma única ligação (idéia já apresentada no modelo proposto na Atividade 5 (figura 20), porém não tão explicitamente). Eles não pensaram numa organização para os íons numa rede, mas sim na possibilidade de várias ligações para justificar a maior liberação de energia ao ser formada a substância.

Durante a realização da Atividade 8 (teste do modelo modificado), a aluna A13 mostrou-se confusa:

Prof.: *“O que A2G1 está perguntando é interessante, será que com a unidade Na^+Cl^- era 808 e com a rede é 808? Vocês vão ter que chegar a uma conclusão: qual dos dois que é?”*

A13: *“É o necessário para estar dissolvendo, tanto faz você ter uma unidade ou uma rede. Você vai usar o 808.”*

Prof.: *“É, mas sendo tão alto, será a unidade ou a rede?”*

A13: *“Ambos. Aquele valor ali é para montar o líquido.”*

A9G3: (Entreviu na discussão mostrando seu modelo (figura 13) e propondo uma explicação a A13) *“Quanto mais você vai tendo quantidades de componentes, você gasta mais energia e a temperatura aumenta. Um par Na^+Cl^- não gastaria 808 não.”*

A13: (Demonstrou que discordava com gestos) *“Uma água depois que ferve não adianta você aumentar o fogo, vai continuar a mesma coisa.”* (Parece que *“a mesma coisa”* se refere à mesma temperatura).

Prof.: *“Ela falou o seguinte: Durante a ebulição – que é quando a água passa do líquido para o gasoso, mesmo se aumentar o aquecimento, a temperatura não vai passar de 100 graus. Mesmo se eu aumentar a quantidade de energia, o cloreto de sódio irá fundir a 808. O que você disse aí é uma coisa, o que eu estou querendo é outra.”*

A10G3: *“É o processo.”*

Prof.: *“Mas olha só, quando você fez o seu modelo para a rede para o cloreto de sódio você acreditava que ele existia na forma de uma unidade ou em rede?”*

A13: *“São unidades de atração que vai formar a rede.”*

Prof.: *“Então essa energia tem que fazer o que com a rede?”*

A13: *“Dissolver. Separar os íons.”*

Prof.: *“Se você tiver uma unidade só, é mais fácil ou difícil?”*

A13: *“É mais fácil.”*

A aluna A13 demonstrou dúvidas que deixavam claro que o grupo não tinha conseguido associar claramente a alta energia com o rompimento de várias ligações entre os íons, como comentando anteriormente em relação à realização do teste do modelo na Atividade 6.

Além disso, nesse diálogo, além da confusão sobre o alto valor de energia requerido para separar as ligações entre átomos para o cloreto de sódio (unidade molecular ou rede de ligações iônicas), a aluna A13 demonstrou uma idéia sobre as ligações de uma substância iônica (*“São unidades de atração que vai formar a rede.”*) que preocupou a professora, pois, de acordo com a mesma, a substância iônica poderia ser semelhante a uma substância formada por moléculas polares. Apesar de esses alunos não demonstrarem possuir a idéia de interação intermolecular, a professora quis distinguir esse aspecto (ressaltando que todas as interações eram entre átomos) para

tentar evitar concepções alternativas futuras, quando os alunos fossem apresentados aos vários tipos de ligações e interações. Esse aspecto foi enfaticamente trabalhado, não só com esse grupo, mas com toda a turma durante a discussão final dessa aula.

Durante a socialização das respostas, ocorreu o seguinte diálogo:

A13: *“Quando eu elaborei o primeiro modelo, eu já o tinha elaborado com não só um par, eu já tinha formado uma rede desde o primeiro modelo. Então ele já explicava tudo. Então eu só reformulei o meu segundo modelo, só um pouquinho. Eu tinha o modelo do sólido (mostra o modelo – figura 9) com todos assim unidos e aí com a temperatura de fusão alta quebra as interações e eu passo a ter ele assim (se refere ao líquido – figura 23) separadas, mas eles não perderam as atrações. Se eu quiser formar ele sólido novamente é possível voltar a ter aquelas atrações como no outro.”*

Prof.: *“Do sólido para o líquido você forneceu energia. E se fosse para você obter o sólido de novo?”*

A13: *“Você vai gastar, perder energia.”*

A13: *“Liberar.”*

Tal diálogo evidencia que o grupo 4, após auxílio da professora e dos outros alunos, conseguiu elaborar uma explicação sobre a necessidade de elevada temperatura de fusão para fundir o cloreto de sódio e construir um modelo coerente para o cloreto de sódio líquido, ressaltando a existência de atração entre os íons, porém mais fracas em relação ao sólido e com maior desorganização.

Após a socialização das respostas, a professora promoveu um fechamento apresentando aos alunos o modelo para o cloreto de sódio (ver descrição das aulas – Atividade 8). Ela enfatizou que as ligações não eram infinitas, como o grupo 4 havia citado, e que a palavra rede remetia a algo que tinha organização; no caso, as substâncias iônicas se organizam em arranjos cristalinos bem definidos. Assim, ela reforçou novamente o fato de muita energia ser necessária para que a substância iônica sólida (muito bem organizada) fundisse.

Na aula de avaliação da estratégia de ensino, A13 e A14 disseram que inicialmente não haviam gostado das primeiras aulas, principalmente, por causa da filmagem, da timidez e de não terem conhecimento de como seria o processo de ensino que vivenciarão. Posteriormente, elas começaram a gostar das aulas por perceberem que era bom aprender através da formulação e reformulação de modelos. Elas também ressaltaram que tinha sido muito melhor trabalhar em grupo. A13, inclusive, destacou

que em atividades de modelagem é necessário se trabalhar em grupo para se compartilhar idéias, dar e ouvir opiniões. Ela também se mostrou satisfeita por seu grupo ter construído um modelo que se assemelhou ao científico. A14 reconheceu que apesar de ter tido mais trabalho, por ter que pensar muito, aprendeu mais através da nova proposta de ensino.

A13 e A14 estiveram presentes em quase todas as aulas, enquanto A15 faltou em grande parte delas. Quando A15 estava presente, não discutia muito com os componentes do grupo e nem com a professora. Parecia que ela simplesmente aceitava as respostas do grupo. Algumas vezes, A14 dialogava com ela, buscando um consenso; em outras acatava suas respostas sem questionamentos. A14 reclamou muitas vezes com a professora sobre o fato de ter que pensar e não ter certeza da resposta correta. A13 reclamou durante algumas aulas, afirmando que "*fazia tudo no grupo*", mas na Atividade 9, como comentado anteriormente, reconheceu a importância do trabalho em grupo.

Na avaliação de aprendizagem realizada pelos alunos desse grupo verificou-se que:

- a respeito do que seria a ligação iônica e como uma substância iônica é formada, a aluna A13 apresentou as idéias de atração entre íons formando um rede e que uma substância iônica era constituída por um metal e um ametal. Por outro lado, A14 e A15 se referiram apenas à atração entre íons de cargas opostas;
- A13 e A14 expressaram um modelo que demonstrou conhecimento sobre ligação iônica, enfatizando partículas próximas e organizadas para a substância iônica no estado sólido. Além disso, A13 também enfatizou as atrações eletrostáticas intensas. A15 representou um modelo em rede, porém não explicou o modelo;
- A13, A14 e A15 disseram haver atração eletrostática nas substâncias iônicas nos estados sólido e líquido;
- em relação às associações feitas pelos alunos entre energia e mudança de estado físico, apenas A13 associou corretamente a alta temperatura de fusão à força da ligação iônica (interatômica). A14 não demonstrou explicações convincentes sobre a necessidade de se fornecer alta energia para a fusão do cloreto de sódio porque não relacionou a força da ligação ou a estabilidade da

substância sólida com o elevado valor de energia requerido para fundir. Ela apenas explicou aspectos gerais de fusão, como sendo um processo que depende da energia e não do tempo. A15 deixou em branco as questões referentes a explicações dessa natureza.

5.2. Análise do Estudo de Caso

A análise do estudo de caso do processo de ensino vivenciado por esse grupo possibilitou identificar a noção de modelos apresentada pelos alunos, o que foi importante para perceber se tais idéias influenciaram no processo de modelagem para ligação iônica, como será evidenciado no decorrer da análise.

A13 considerou modelos como representação parcial (concreta ou não) de algo físico ou abstrato; ressaltou a importância de modelos para previsões e de se levar em conta algum objetivo na construção de um modelo e também se referiu às incertezas presentes nas representações: *“uma vez que não se tem total certeza sobre como a molécula de água é na realidade”*. Ela aplicou essas idéias para alguns sistemas apresentados pela professora (representação para água em bolas e varetas, representações para dissolução) de forma coerente. Porém, em alguns casos aplicou idéias sobre modelo advindas do cotidiano (protótipo e demonstração), ou recorreu a alguma peculiaridade de um exemplo como justificativa, como o fato de o gráfico ser modelo por através dele se obter a inclinação da reta.

A14 apresentou uma conceituação inicial para modelo como exemplo a ser seguido, protótipo e demonstração, mas classificou alguns sistemas como modelo por serem representações (mapa, molécula de água em bolas e vareta, desenhos para a dissolução), apesar de não ter explicitado se tais representações eram parciais e se tinham diferentes objetivos.

Não foi possível conhecer as idéias de A15 sobre modelo porque ela não esteve presente na realização da Atividade 1.

Durante a realização da Atividade 2, não foi possível obter detalhes sobre o pensamento de A13 e A14 a respeito do processo de construção de modelos, pois as mesmas não expressaram isso claramente em suas atividades escritas ou na discussão. Apenas A13 afirmou sobre a importância dos conhecimentos prévios na construção do conhecimento.

A análise do estudo de caso referente ao processo de ensino vivenciado pelo grupo 4, com foco nas Atividades 3, 4, 5, 6, 7 e 8 possibilitou verificar como alguns elementos influenciaram na aprendizagem de seus componentes sobre ligação química.

Um desses elementos foram as evidências experimentais que influenciaram de forma significativa na busca, inserção e reconstrução de idéias, como observado, por exemplo, na Atividade 3. Nessa atividade, através da resolução de situações-problema formuladas a partir das evidências, emergiram concepções alternativas. Por exemplo, A14 não possuía real entendimento sobre a natureza da luz, porque mesmo após ter respondido que a luz era um tipo de radiação eletromagnética para a professora, utilizou idéias substancialistas (“*fogo libera CO₂*”) para explicar de que maneira se dava a queima.

O experimento mental da questão 1 da Atividade 5 foi importante por ressaltar como os alunos pensavam nas partículas do sal de cozinha dissolvidas em água (figura 20). Esse grupo não pensou na precipitação do cloreto de sódio, pois representou uma mistura homogênea para a dissolução do cloreto de sódio e demonstrou a idéia de que as partículas tinham se ‘unido’ ao formarem a mistura.

Esse foi o grupo que, inicialmente, deixou mais claro que a ‘união das partículas’ estava relacionada à atração coulombiana, talvez pelo fato de os alunos recordarem o que havia sido discutido em aulas anteriores (modelos atômicos) ou devido à contribuição de A13, que parecia ter algum conhecimento sobre ligação iônica ou ter simplesmente associado NaCl à ligação iônica, pois afirmou, desde o início, que “*eram ligações iônicas*”.

Os experimentos da Atividade 5 influenciaram na discussão sobre maior estabilidade do NaCl em relação aos seus íons constituintes, pois os alunos estabeleceram confusões entre a água evaporar e o sal continuar retido no recipiente e, por isso, ser mais estável. Isso evidenciou que eles não pensaram em menor temperatura de ebulição da água em relação à fusão do sal e nas discussões da Atividade 3, ou seja, evidenciou que seu pensamento sobre estabilidade estava focado no nível macroscópico da matéria.

O dado empírico da Atividade 6 foi importante por dar suporte ao teste para o modelo em rede, ou seja, para evidenciar se o grupo realmente tinha a idéia de que ‘mais componentes’ (vários pares de íons Na⁺Cl⁻) iriam resultar em maior gasto de energia para fundir o cloreto de sódio. Nesse momento, esse grupo passou para a

professora a impressão de reconhecer esse aspecto para explicar o dado empírico. Além disso, parece que esse dado influenciou na proposição de um modelo para o cloreto de sódio líquido, pois os alunos acharam que era necessário representar o sistema final após a mudança de fase, o que levou a professora a perceber incoerências sobre a compreensão e representação desses alunos em relação à atração entre íons de cargas opostas no estado líquido do cloreto de sódio.

Os dados empíricos apresentados na Atividade 7 foram importantes por servir de dado confirmatório para o modelo proposto na Atividade 5 e ainda por possibilitar maior entendimento do grupo sobre a necessidade de o modelo apresentar 'mais componentes'. Ademais, esses dados parecem ter fundamentado uma nova oportunidade para discussão sobre a relação entre abaixamento de energia e estabilidade.

O dado empírico sobre a temperatura de fusão do cloreto de sódio foi novamente importante na Atividade 8, servindo de teste do modelo em rede reformulado na Atividade 7. Através desse teste, foram verificadas dúvidas do grupo sobre a necessidade de o cloreto de sódio estar organizado em rede para explicar seu elevado valor de temperatura de fusão, o que parece ter auxiliado na distinção entre várias ligações entre os íons no retículo e atrações entre pares de íons Na^+Cl^- . Além disso, durante a discussão desse dado empírico, os alunos expressaram algumas confusões entre conceitos: dissolução como sinônimo de fusão; temperatura, energia e mudança de fase.

Outro elemento importante do processo de ensino fundamentado em modelagem que contribuiu para a aprendizagem dos alunos desse grupo foi a expressão das idéias prévias, assim como a maneira como a professora as considerou. Esse grupo apresentou idéias prévias sobre distribuição de íons e estabilidade pelo octeto e, inicialmente, tentou propor um modelo que só levasse em consideração essa explicação para a formação de íons. Essas idéias foram melhor trabalhadas pelo grupo, com o auxílio da professora, a interferência de alunos de outros grupos e dos dados fornecidos na tabela da Atividade 4. É importante ressaltar que os componentes desse grupo apresentaram concepções alternativas sobre energia de ionização (energia de ionização negativa; o núcleo exerce menos força para atrair os elétrons do Na^+ porque só há duas camadas). Entretanto, a partir da análise da tabela contendo os valores de energia de ionização e da assistência da professora, os alunos conseguiram propor uma explicação mais completa

– o que foi importante na socialização das respostas, por auxiliar os outros grupos a compreender melhor os dados tabelados e a estabilização mediante o octeto.

As expressões em forma verbal e concreta dos modelos foram aspectos essenciais para fomentar a aprendizagem dos alunos deste grupo. Isso ficou evidente quando G4 propôs o modelo em rede na Atividade 5, no qual mais de uma bolinha foi utilizada para cada íon. A expressão concreta desse modelo possibilitou a discussão sobre o significado de cada representação, enquanto a explicação verbal deu mais significado ao que os alunos do grupo pensavam sobre a ligação dos íons. O fato de A13 apresentar duas concepções sobre modelo (protótipo e representação) pode ter influenciado na confecção desse modelo (figura 21), e também do modelo para o cloreto de sódio líquido (figura 23). Isso porque ela focou mais os atributos físicos do modelo do que a coerência com as representações adequadas para os átomos.

É necessário destacar a importância da apresentação dos modelos concretos para a turma, como no caso do modelo em rede da Atividade 5, pois isso iniciou a discussão na qual A1G1 questionou sobre as representações adotadas em cada modelo. Através de uma discussão com a professora eles reconheceram que representar cada íon por mais de uma bolinha de isopor não era correto.

É importante também destacar a influência das representações concretas dos modelos em rede e em par para auxiliar A9G3 a discutir com A13G4 sobre a necessidade de o cloreto de sódio gastar muita energia para fundir. A visualização de um par ou de vários pares Na^+Cl^- parece ter sido essencial para o entendimento sobre o processo de fusão para A13.

Como visto na análise dos estudos de caso anteriores, os alunos deste grupo influenciaram significativamente os dos outros grupos. Porém, esse grupo também recebeu influência dos demais, o que foi relevante para a aprendizagem de seus componentes. O exemplo mais significativo foi a participação de A9G3 na discussão da Atividade 8, o que auxiliou G4 na compreensão sobre o elevado valor da temperatura de fusão do cloreto de sódio.

Outro elemento que parece ter contribuído para a aprendizagem dos alunos foi o papel da professora ao exigir explicações mais completas (Atividade 4), na proposição de 'questões geradoras' e sugestões (como, por exemplo, pensar em alguns aspectos da Atividade 3 para responder sobre a estabilidade do NaCl em relação aos íons isolados),

assim como no questionamento sobre os códigos de representação utilizados nos modelos.

Em relação à avaliação final de conteúdo, foi verificado que os componentes do grupo 4 que se mais empenharam nas atividades de modelagem expressaram mais aspectos coerentes sobre o modelo para ligação iônica.

Na Atividade 5, inicialmente, o grupo propôs um modelo que demonstrava mais atrações entre os íons, sendo que as justificativas para sua proposição partiram de A13, com concordância dos demais componentes do grupo. Portanto, ela apresentava a idéia de várias atrações eletrostáticas, que foi melhor trabalhada nas Atividades 7 e 8. Parece que na Atividade 7 os dados empíricos sobre energia liberada na formação de rede e par iônico forneceram evidências de que haveriam mais ligações entre os íons (teste do modelo) e um relacionamento entre energia e estabilidade (o que A13 explicara anteriormente, na Atividade 5, como baseado na não ocorrência de alterações macroscópicas). Na Atividade 8, tornou-se possível para A13 entender o processo de fusão, que não estava claro na Atividade 6. Devido às várias oportunidades fornecidas pela estratégia de ensino e ao engajamento de A13 durante todas as aulas, ela foi capaz de aprimorar suas idéias, o que culminou com um bom entendimento de ligação iônica, visto que em sua avaliação foram apresentadas várias características coerentes sobre esse tipo de ligação.

Apesar de ter expressado uma idéia inicial de modelo como protótipo e do foco nos atributos concretos na construção de modelos, é possível inferir que A13 tenha utilizado a idéia de modelo como representação nas atividades de modelagem. Isso porque ela se referiu às bolinhas como representações utilizadas para identificar cátions e ânions (Atividade 7) e ao palito como representação da ligação, interação entre os íons (Atividade 5). As funções de previsão e visualização de modelos foram devidamente utilizadas por A13, visto que ela foi capaz de entender a necessidade de vários íons se atraindo para explicar a elevada temperatura de fusão na Atividade 8 e utilizar coerentemente tal idéia em sua avaliação. Além disso, ela foi capaz de utilizar os modelos construídos nas Atividades 5, 6 e 7 para facilitar a explicação e comunicação em seu grupo e com os demais, o que pode ter ampliado a compreensão sobre as funções de modelo na ciência para a aluna.

A14, apesar de estar presente na maioria das aulas e de participar delas, muitas vezes concordava com as idéias de A13 sem discutir. Por isso, a idéia de modelo em

rede, desenvolvida por A13 desde a Atividade 5, não era tão clara para A14. Portanto, a inserção de testes e dados empíricos foi essencial para que A14 pudesse desenvolver um conhecimento sobre modelo em rede, que foi apresentado de forma coerente em sua avaliação. Essa aluna não foi capaz de explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio em sua avaliação. Possivelmente, isso se deveu ao fato de ela ainda apresentar as dúvidas sobre tal processo expressas na Atividade 8. Apesar de esse aspecto ter sido discutido, foi A13 que participou mais ativamente dessas discussões (como visto nos diálogos apresentados no estudo de caso), e talvez por isso A14 ainda tenha ficado com dúvidas sobre a força das ligações iônicas e a necessidade de energia para rompê-las. Talvez por isso, na avaliação ela tenha respondido de forma geral (fusão relacionada não com tempo de exposição a uma fonte de aquecimento, mas dependente da energia) a questões que exigiam conhecimento dessa natureza. Apesar de não ter demonstrado conhecimento de ligação iônica em sua resposta, A14 apresentou uma evolução em suas idéias iniciais em direção às científicas, pois, nas discussões iniciais da Atividade 3, havia afirmado que uma panela de ferro poderia se fundir se ficasse exposta por tempo prolongado à chama de um fogão.

A14 apresentou idéias distintas de A13 na Atividade 1. Na Atividade 4, A14 apresentou idéias semelhantes às de A10G3, sobre a possibilidade de ver a formação do cloreto de sódio por meio de um experimento (isto é, de evidenciar aspectos visíveis do fenômeno) e, com isso, modelá-lo. Através das atividades de modelagem, foram dadas oportunidades para que ela percebesse que um experimento poderia ser mental e que através dele seria possível propor um modelo para entender os aspectos sub-microscópicos da matéria. Além das possibilidades oferecidas pela estratégia de ensino, possivelmente, o trabalho em grupo tenha influenciado significativamente na modificação ou reconstrução de algumas idéias de A14 de forma a ter ampliado sua noção sobre modelos em direção às idéias científicas, no sentido de entendê-los como representações parciais da realidade, visto as frequentes trocas de idéias ocorridas com A13.

A15 não foi capaz de demonstrar um conhecimento sobre modelo em rede e temperatura de fusão para compostos iônicos de forma coerente em sua avaliação, isso deve estar relacionado à sua ausência em muitas aulas, incluindo as Atividades 6 e 7, que foram essenciais para discussão de aspectos centrais sobre ligação iônica. Além

disso, muitas vezes, ela aceitava as idéias de A13 sem discutir. Não obtivemos dados relativos aos conhecimentos dessa aluna sobre modelos.

6. ANÁLISE DOS QUATRO ESTUDOS DE CASO

6.1. A contribuição do processo para a aprendizagem de alguns aspectos conceituais de ligação iônica

A partir do ensino fundamentado em modelagem, boa parte dos alunos pesquisados desenvolveu como principais idéias de conteúdo químico: a relação entre abaixamento de energia e formação de substâncias mais estáveis do que os íons isolados; ligação iônica como atração eletrostática entre íons de cargas opostas levando à formação de rede iônica; existência de força eletrostática entre íons no estado líquido (de menor intensidade do que no sólido); rompimento de várias e fortes interações interatômicas durante a fusão, justificando a necessidade de grande fornecimento de energia. A seguir será comentado como percebemos que a estratégia de ensino favoreceu o aprendizado desses aspectos.

6.1.1. Aspectos relacionados ao diagrama modelo de modelagem

As **evidências experimentais** foram elementos importantes que influenciaram no processo de aprendizagem. Ficou nítido, por exemplo, como elas motivaram os alunos a explicar as situações-problema propostas na Atividade 3 com base nas evidências do experimento de queima do magnésio. As questões propostas na Atividade 3 tiveram papel primordial em tornar o experimento significativo para a construção de conhecimentos dos alunos, porque direcionaram o raciocínio dos mesmos para aspectos importantes que conduziriam ao entendimento do fenômeno. A busca de explicações levou os alunos a utilizar os conhecimentos prévios (reação de combustão, luz e fogo como formas de energia) e as idéias cotidianas (estabilidade relacionada à não observação de alterações macroscópicas do sistema) de forma a integrá-los na resolução das questões. As respostas dadas pelos grupos às questões propostas nessa atividade foram semelhantes. Ao analisá-las, percebemos grande concordância com o que é

apresentado pela literatura (Harrison & Treagust, 1996; Johnstone, 1982; Treagust & Chittleborough, 2001): a grande dificuldade apresentada pelos alunos em propor explicações que necessitam de um trânsito entre o nível macroscópico e o nível sub-microscópico. Como esses alunos ainda não haviam estudado reação química naquele ano escolar, esperávamos que eles tivessem dificuldades de abstração, o que contribuiria para tornar difíceis as transições entre os níveis de conhecimento ao propor explicações para o experimento. Assim, as explicações se situaram no aspecto macroscópico da matéria e emergiram várias concepções inadequadas do ponto de vista científico (visão substancialista de energia, confusão entre os termos mistura e substância), inclusive de assuntos anteriormente discutidos, evidenciando que as explicações com base no senso comum eram relevantes para os alunos. Tais concepções puderam ser melhor exploradas pela professora.

A Atividade 3 também possibilitou a inserção de novas idéias e constituiu-se de uma boa oportunidade para os alunos pensarem em um fenômeno químico de maneira abstrata. Isto foi favorecido pela professora ao relacionar a quebra das ligações das substâncias magnésio e oxigênio e a formação de ligações na substância óxido de magnésio com energia. Sendo assim, a atividade ofereceu um primeiro e importante contato com o assunto ligação química – a relação entre energia e estabilidade – que foi retomado em outras atividades de modelagem. Como a discussão entre a energia envolvida na ruptura e formação de ligações, incluindo o gráfico de “poço potencial” (Apêndice 1) é algo de difícil compreensão para os alunos (Teichert & Stacy, 2002), percebemos que foi uma boa escolha iniciar as discussões sobre energia envolvida nas ligações químicas a partir das evidências experimentais, que, parece, tornaram as discussões mais acessíveis para esses alunos.

Algumas pesquisas sobre concepções alternativas dos alunos em química, como as enfatizadas no trabalho de revisão de Garnett e Hackling (1995), enfatizam a necessidade de o ensino partir de situações cotidianas para despertar o interesse e a motivação dos alunos. Com base nos estudos de caso, é possível afirmar que os experimentos mentais propostos na Atividade 5 foram importantes nesse sentido. Isso porque todos os grupos se engajaram muito na Atividade 5 e, inicialmente, sem o auxílio da professora (diferentemente do que havia ocorrido anteriormente nas Atividades 3 e 4, quando a professora teve que intervir e dar mais sugestões para estimular respostas às questões).

Em relação aos modelos propostos com base no experimento mental da questão 1 da Atividade 5 (dissolução do cloreto de sódio), G1, G2 e G3 apresentaram concepções alternativas relatadas na literatura (Harrison & Treagust, 1996; Renstrom et al., 1990; Treagust & Chittleborough, 2001) ao demonstrarem em seus desenhos uma correspondência do que observaram macroscopicamente com o nível sub-microscópico ao se referirem ao sal como grãos (G1, G2 e G3) e, em certos casos (G3), ao expressar uma visão contínua da matéria. Dar aos alunos a oportunidade de construir seus modelos livremente foi importante para a professora perceber concepções alternativas relativas ao modelo de partículas, podendo discuti-lo novamente. Caso a solicitação de construção de modelos partisse dos íons propostos na Atividade 4 (ver descrição das aulas), as representações advindas desse experimento e a riqueza de discussões possibilitada por elas poderia não ter ocorrido, pois isso poderia direcionar as respostas dos alunos.

Clement (1989) sugeriu aos professores de ciência que utilizassem o conhecimento intrínseco na resolução de problemas anteriormente ao formalismo matemático. Em concordância com essa sugestão, Taber (2005) salientou a necessidade de utilizar o conhecimento tácito de força eletrostática no ensino de ligação iônica. Esse conhecimento deve ter sido utilizado na proposição dos modelos dos grupos com base no experimento mental proposto na questão 2 da Atividade 5 (cloreto de sódio após evaporação da água). Apesar de os alunos não demonstrarem uma justificativa baseada na Lei de Coulomb⁴², inicialmente, eles devem tê-la utilizado intuitivamente ao propor os modelos de pares Na^+Cl^- .

Todos os grupos, inicialmente, justificaram seus modelos com base na união ou mistura das partículas. De acordo com a literatura sobre concepções alternativas (por exemplo, Renstrom et al., 1990), esse tipo de confusão é freqüente entre os alunos. Segundo esses autores, quando os professores falam sobre a água ser constituída de oxigênio e hidrogênio, muitos estudantes interpretam tal fala como se a água fosse uma mistura desses dois gases. O fato de essas justificativas terem aparecido foi importante para que a professora os indagasse e discutisse sobre esses termos na busca de uma justificativa mais coerente.

⁴² Na Atividade 4 os alunos também utilizaram esse conhecimento de forma implícita, já que não remeteram à lei diretamente, ou seja, ao fato de a distância entre as cargas ser inversamente proporcional às forças.

Com base no experimento mental (cloreto de sódio após evaporação da água) e nas idéias prévias, G1, G2 e G3 propuseram modelos 'NaCl molécula', como previsto de acordo com a literatura (por exemplo, Butts & Smith, 1987; Coll & Treagust, 2003; Taber, 1994; Taber, 1997). Apesar de serem modelos moleculares para o cloreto de sódio, esses grupos não se referiram à transferência de elétron – o que não foi mencionado no processo de ensino, que se baseou na formação de íons levando em consideração a propriedade energia de ionização. Portanto, os conhecimentos da fórmula do NaCl e a idéia de que uma carga positiva atrai apenas outra negativa e vice-versa podem ter levado os alunos a pensar em um par de íons.

Em contrapartida, G4 apresentou um modelo que expressava a idéia de vários íons Na^+Cl^- interagindo, possivelmente por apresentar algum conhecimento anterior sobre ligação iônica⁴³ ou por ter um conhecimento maior sobre força eletrostática, isto é, saber que uma carga positiva pode atrair mais cargas negativas e vice-versa. Em ambos tipos de modelos (moleculares ou rede) os alunos não evidenciaram claramente a compreensão do conceito de substância, pois não explicitaram que a unidade fundamental (molécula ou retículo) deveria se repetir várias vezes através de algum tipo de interação (intermolecular – interação entre pares Na^+Cl^- mais fraca do que a ligação entre os íons ou interatômica – existência de vários retículos no cristal, com interação entre íons a diferentes distâncias).

Inicialmente, os grupos G1, G2 e G3 tiveram grande dificuldade em propor uma explicação para o dado empírico de temperatura de fusão do cloreto de sódio, o que parece evidenciar que esse dado não foi um teste eficiente para modificação dos modelos 'NaCl molécula'. Possíveis explicações para isto seriam a falta de compreensão dos alunos sobre o fato de ser consumir muita energia para 'quebra' de ligações e o não entendimento do significado de teste do modelo. Inesperadamente, todos os grupos construíram modelos que representavam como seria o cloreto de sódio líquido. Isso evidencia que, apesar de não terem atingido o objetivo inicial proposto pela atividade, a modelagem possibilitou a construção de uma nova resposta, influenciando na construção de novos conhecimentos (força eletrostática mais fraca no líquido em

⁴³ As possíveis evidências disso são os fatos de uma das componentes deste grupo, A13: (i) em sua avaliação, ter sido a única aluna a se referir à ligação iônica como formada entre metal e ametal, característica não enfatizada pela professora no processo de ensino e (ii) empregar o termo ligação iônica na Atividade 5, sem que a professora o tivesse mencionado.

comparação ao sólido devido à distância entre as cargas), além de não limitar a criatividade do aluno (Justi, 2006).

Quando a estratégia de ensino foi elaborada, prevíamos que os dados empíricos da Atividade 7 seriam importantes para a reformulação de modelos moleculares, pois acreditávamos que os alunos teriam dificuldade em explicar o dado empírico da Atividade 6, devido à elevada exigência de abstração. Fora isso, de acordo com o diagrama Modelo de Modelagem, a escolha do tipo e número de testes depende da natureza do modelo. Concluímos, com base na análise dos estudos de caso, que, de fato, os dados empíricos apresentados na Atividade 7 constituíram-se de um bom teste para os modelos 'NaCl molécula' (G1, G2 e G3) levando os alunos a propor modelos em rede (G1, G3) e, ainda, servindo como um dado confirmatório para o modelo de G4.

Os dados empíricos apresentados na Atividade 7 são obtidos a partir de uma análise mais complexa (Apêndice 1) que, apresentada da maneira como foi na atividade, parece ter-se tornado muito significativa para todos os grupos. Isso pode ser um indício de que a relação entre energia e estabilidade com valores numéricos foi mais facilmente apreendida pelos alunos, tornando o que havia sido discutido na Atividade 3 mais significativo e favorecendo o teste e a reformulação de modelos. Portanto, o uso desses dados no processo de modelagem está em concordância com o ponto de vista de Taber (2005), de que uma das necessidades do ensino é tornar acessíveis idéias complexas. Porém, para ele, isso deve ser realizado de forma cautelosa, a fim de não ocorrerem simplificações exageradas que possam levar o conhecimento a se afastar muito do científico (como por exemplo, a redução da ligação iônica à transferência de elétrons enfatizada em diagramas de livros didáticos).

Um ponto importante a se salientar é que componentes dos grupos G1 e G3 raciocinaram de forma análoga à idéia demonstrada na figura 1 do Apêndice 1 ao reformularem o modelo, pois disseram que no modelo havia mais pares para justificar o aumento de energia liberada. Em contrapartida, alguns componentes de G2 raciocinaram de forma incorreta, ao pensar que a energia liberada fosse proporcional ao número de pares.

Após a Atividade 7, o dado empírico de temperatura de fusão (Atividade 8) foi um excelente teste para os modelos reformulados, principalmente porque, inicialmente, apenas G3 demonstrou real entendimento sobre a necessidade de se consumir mais energia com o aumento de pares. Portanto, os alunos de G4, que haviam dito que seu

modelo explicava o dado empírico de temperatura de fusão na Atividade 6, não tinham uma real compreensão de sua resposta, pois apresentaram dúvidas sobre o fato de o modelo em par ou em rede explicar o valor da temperatura de fusão.

Na Atividade 8, esse dado possibilitou que os grupos construíssem conhecimento sobre o processo de fusão relacionando a elevada energia gasta para se diminuir a atração eletrostática, o que acarretou uma melhor compreensão do modelo em rede por todos os grupos. Ademais, ele favoreceu a emergência de concepções alternativas de G1 e G4 sobre dissolução como sinônimo de fusão. De acordo com a literatura (por exemplo, Treagust & Chittleborough, 2001), dissolução e fusão são termos de grande confusão entre os alunos, que podem advir de problemas de comunicação relativos ao uso cotidiano dessas palavras. O conhecimento da literatura foi importante para que a professora pudesse enfatizar as diferenças entre esses termos buscando assim, favorecer uma compreensão adequada dos mesmos por parte dos alunos.

Outro elemento importante do processo de aprendizagem foi a consideração das **idéias prévias**, que foram essenciais para a construção e reformulação de modelos e para a professora perceber que alguns conhecimentos, anteriormente discutidos, não estavam claros para os alunos. Um exemplo foi o conceito de energia de ionização (Atividade 4), em relação ao qual todos os grupos tiveram dificuldades de aplicação na formulação de uma explicação para a formação de íons, evidenciando que esses alunos não relacionavam a magnitude dos valores de energia de ionização com a formação de cátions e ânions.

Tan, Khang, Lian Sai e Taber (2005) relataram as dificuldades dos estudantes em entender e aplicar o conceito de energia de ionização. Pesquisas realizadas por eles diagnosticaram concepções alternativas apresentadas por alunos advindas da má compreensão dessa propriedade: (i) explicações para estabilidade de um átomo com base na regra do octeto; (ii) pensamento baseado na conservação de forças, segundo o qual quando um átomo passa a ter um elétron a menos aumenta-se a magnitude da força de atração do núcleo pelos elétrons para se conservar a força anterior, justificando acréscimos nas sucessivas energias de ionização; e (iii) dificuldade em estabelecer relações, porque não pensam nos três pré-requisitos principais para explicar a variação da energia de ionização (carga nuclear, efeito blindagem e distância do núcleo). Considerando tais aspectos apresentados nessa pesquisa, podemos afirmar que todos os

grupos apresentaram as concepções alternativas (i) e (iii) como explicação inicial para formação de íons, restringindo as explicações para formação de íons com base em suas idéias prévias de distribuição eletrônica e regra do octeto.

Levando tais dificuldades em consideração, a professora discutiu novamente essa propriedade com o intuito de ajudar os alunos a desenvolver uma melhor compreensão a respeito da formação de íons. Tal opção foi feita por concordarmos com Tan et al. (2005) sobre a importância desse tópico para o entendimento de outros assuntos em química e visando que o ensino de ligação iônica não se centrasse em idéias como as de transferência de elétrons, valência e regra do octeto.

Todos os grupos utilizaram como conhecimento prévio o modelo de partículas, demonstrando idéias corretas e incorretas sobre ele. Isso foi primordial para a proposição e a reformulação de modelos e para a discussão de idéias inadequadas sobre o mesmo. As incoerências sobre o modelo de partículas foram explicitadas nos modelos concretos. Por esse motivo, dentre outros, destacamos que a **expressão dos modelos concretos** foi outro elemento importante do processo de ensino. Essa possibilidade de expressão ajudou na visualização dos modelos para a ligação e do que ocorre quando há mudança de fase, facilitando o entendimento e a comunicação (inicialmente entre os alunos de um mesmo grupo e, posteriormente, entre alunos de diferentes grupos).

Como alguns grupos expressaram modelos concretos distintos, foi mais fácil para a professora discutir a importância de diferentes formas de expressão. Nesse sentido, ao conduzir a discussão de um modelo consensual para a turma, ela enfatizou que os modelos dos grupos G1, G3 e G4 enfatizam características semelhantes e que, por isso, eram válidos para explicar alguns aspectos da ligação iônica. Assim, o entendimento da possibilidade de existência de múltiplos modelos (utilizando-se modos de representação distintos em função dos objetivos) ficou mais acessível para os alunos.

Esse aspecto se refletiu nas questões da avaliação final, quando alguns alunos desenharam modelos para explicar o que a questão solicitava sem tentar reproduzir o modelo curricular para o cloreto de sódio. Além disso, muitos deles propuseram explicações para a temperatura de fusão de compostos iônicos com base em modelos, portanto um conhecimento não declarativo, como exemplificado na figura 24.

“Para quebrar as ligações iônicas do Na^+Cl^- é necessário uma temperatura de fusão de 808°C . É necessário alta temperatura para quebrar todas as ligações fortes”:

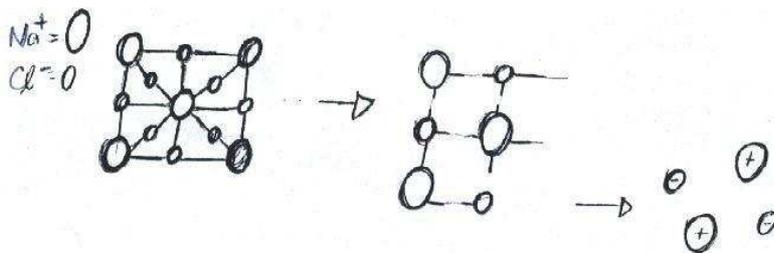


Figura 24. Resposta de A13G4 na avaliação ao ser solicitada a explicar como ficam as partículas do cloreto de sódio com o aquecimento de 1000°C.

Assim, concordamos com Kozma e Russel (1997) e Mathewson (2005) sobre a importância da introdução e discussão explícita de variadas representações no ensino de química de forma a capacitar os alunos a entender o significado das representações, das abrangências e limitações de modelos, e de os capacitar a resolver problemas que necessitem de respostas no nível sub-microscópico.

6.1.2. Aspectos metodológicos: ações empregadas durante a aplicação da estratégia de ensino

As **interações dos alunos nos grupos** e **socializações de idéias entre os diferentes grupos** foram percebidos como importantes elementos metodológicos para a construção de conhecimentos dos alunos. Isso porque elas permitiram a negociação de idéias e o compartilhamento de hipóteses, dúvidas, informações e soluções.

O **papel moderador da professora**⁴⁴ foi fundamental para a construção de conhecimento dos grupos. Isso porque os questionamentos (alguns desses planejados no momento de elaboração da estratégia de ensino, devido ao conhecimento das concepções alternativas sobre o assunto), as sugestões, a elaboração de 'questões geradoras' (Vosniadou, 2002) e as intervenções nas discussões dos grupos contribuíram para ajudar os alunos a buscar novas informações, a refletir sobre os modelos (limitações, reformulações, significado das representações), a utilizar idéias prévias em momentos adequados, a expressar claramente idéias expressas inicialmente de forma confusa, a interpretar as evidências empíricas a partir dessas idéias prévias e a negociar

⁴⁴ No ensino fundamentado em modelagem, o professor deve ouvir as idéias dos alunos e favorecer a contraposição de idéias, além de propor questões que contribuam para o desenvolvimento do raciocínio dos alunos (Justi, 2006).

idéias entre os colegas. Além disso, a professora buscou promover nos alunos confiança em suas próprias idéias, principalmente, por não sentenciar as respostas como corretas e incorretas. Ao invés disso, ela observou se os modelos eram coerentes para explicar determinada situação problema. Assim, foi gerado um ambiente de ensino com respeito mútuo entre os indivíduos. Coerentemente com isso, a professora não impôs o modelo curricular de maneira autoritária, mas discutiu seus elementos à luz dos elementos expressos nos modelos dos alunos, complementando-os quando necessário (Justi, 2006).

6.2. A compreensão do papel dos modelos na ciência

No início do ensino de ligação iônica, foi aplicado um diagnóstico inicial (Atividade 1) que nos possibilitou identificar as idéias prévias sobre modelo de cada aluno e verificar a concordância da aplicação dessas idéias na classificação de diferentes sistemas como modelos. Essa atividade foi realizada individualmente, o que resultou em muitas idéias dos componentes de cada grupo divergirem bastante, como apresentado nos estudos de caso. Conhecendo as idéias prévias sobre modelos de cada aluno, pudemos perceber que, em alguns casos, determinados alunos influenciaram significativamente as idéias de outros componentes do grupo. Isto ocorreu, por exemplo, quando as idéias de A13 (foco principal nos atributos concretos e não nas idéias durante a construção de modelos) influenciaram as dos demais componentes do grupo 4 na proposição de modelos nas Atividades 5 e 6. A partir da análise das respostas atribuídas à Atividade 1, percebemos que a idéia coerente mais recorrente apresentada pelos alunos sobre modelos foi a de representação (9 alunos). Porém, desses alunos, apenas A1 não utilizou concomitantemente concepções cotidianas sobre modelo.

Ainda em relação às idéias dos alunos sobre modelos, apenas A13 referiu-se explicitamente à importância de objetivos na construção de modelos na Atividade 1. Entretanto, na Atividade 6 (construção de um modelo para cloreto de sódio líquido sem solicitação) parece que tal idéia não era bem clara para ela. Talvez por não ter claro a necessidade de objetivos na construção de modelos, muitos alunos tiveram dificuldades em classificar as distintas representações para um mesmo sistema, propostas na Atividade 1, como diferentes modelos. Os alunos tiveram maior dificuldade em classificar a equação e a fórmula para movimento retilíneo uniforme como modelos.

Para esses sistemas, apenas o grupo 1 apresentou como justificativa o fato de serem formas de representar um tipo de movimento. Os demais grupos não expuseram motivos plausíveis para justificar a classificação ou recorreram a particularidades de cada exemplo. Isso pode indicar que alguns alunos não tinham convicção total de que um modelo poderia ser algo não concreto (matemático, verbal, gráfico).

Tomando conhecimento das respostas dos alunos na Atividade 1, percebemos que os aspectos anteriormente enfatizados pela professora no ensino de tópicos como modelo de partículas e modelo atômico (ver descrição das aulas) não tinham sido eficazes no sentido de levá-los a utilizar os principais aspectos anteriormente discutidos sobre modelos na ciência. Provavelmente, isso ocorreu porque a discussão anterior havia partido de definições da professora e não de idéias dos alunos, ou sem que se verificasse a coerência no uso de um conceito em diferentes situações, como ocorreu na Atividade 1. Portanto, parece que uma distinção entre modelo na ciência e no cotidiano e a inserção de novos aspectos a partir de sistemas que enfocassem vários atributos foram válidos para que os alunos pudessem ter a oportunidade de adquirir mais experiência com o 'alvo'⁴⁵. Mesmo assim, verificamos que algumas concepções iniciais sobre modelos influenciaram no processo de modelagem. Como exemplo, citamos o fato de os grupos 3 e 4 se concentrarem mais no aspecto físico da construção dos modelos do que nas idéias ao confeccionarem modelos concretos utilizando mais de uma bolinha para representar cada átomo na Atividade 5.

Alguns dos pontos discutidos na Atividade 1 foram retomados novamente quando os alunos modelaram na prática, ou seja, no processo de ensino ocorreram novas oportunidades para que muitos alunos pudessem perceber a necessidade de se ter objetivos claros para a construção de modelos, a limitação e o uso de múltiplos modelos, por exemplo.

Não foi aplicado um instrumento diagnóstico que verificasse as concepções sobre modelo por parte desses alunos após a intervenção por modelagem. Foi através da observação dos grupos no processo de modelagem, assim como do registro de algumas discussões, que obtivemos indícios do esclarecimento de alguns aspectos sobre modelos. Como exemplos, citamos o fato de alguns alunos (i) dos grupos G1 e G3 reconhecerem que podem haver diferentes modelos para uma mesma entidade, quando eles evidenciaram entender o fato de cloreto de sódio ser representado por NaCl

⁴⁵ No sentido de que adquirir mais experiência em relação à idéia de modelagem.

(ênfatizando a proporção 1:1) e por uma rede (várias interações no retículo), na Atividade 8 ao se discutir sobre o modelo consensual; (ii) do grupo G3 conseguirem explicar para alunos do grupo G4, manipulando o modelo concreto, que a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio só poderia ser explicada através da organização em rede e (iii) do grupo G1 utilizarem os modelos com a função de favorecer a visualização ao questionarem a professora sobre o número de ligações efetuadas por cada íon e sobre o formato da rede.

6.3. A percepção dos alunos sobre o próprio aprendizado

A maioria dos alunos se engajou muito durante todas as atividades e reconheceu que aprender por modelagem era mais difícil, por exigir muito raciocínio e porque havia muitas incertezas. Entretanto, eles mesmos também reconheceram que mesmo assim havia sido melhor, principalmente, pela possibilidade de socialização com seus pares, de realmente compreenderem um modelo através das várias oportunidades oferecidas pelas atividades (teste e reformulação) e pelo fato de terem que construir seu próprio conhecimento, ao invés de ele ser apresentado 'pronto'.

Alguns alunos reconheceram que, inicialmente, se sentiram "*um pouco perdidos com as aulas*" (A13G4), pois era tudo muito novo para eles, mas que depois começaram a perceber a lógica do processo e a se expor com mais tranquilidade, o que os levou a perceber a relevância das aulas da estratégia de modelagem para o aprendizado deles (Grupo 4). Outros alunos destacaram a dificuldade inicial de expressar suas idéias em função da filmagem. Porém, como havia sido criado um ambiente de respeito mútuo às respostas dos colegas, eles reconheceram que a dificuldade foi sendo minimizada ao longo do processo de ensino. Por vários motivos adversos, nem todos alunos se engajaram de forma semelhante nas atividades de modelagem. Tal aspecto foi, muitas vezes, reconhecido por eles próprios, como A7G2, que disse que deveria ter "*prestado mais atenção*" em certos aspectos. Consideramos que isso influenciou no desenvolvimento de seus conhecimentos sobre ligação iônica, pois aqueles que mais se engajaram cognitivamente nas atividades de modelagem apresentaram idéias mais coerentes tanto ao longo do processo quanto na avaliação de conteúdo. Porém, alguns alunos que não tiveram bom desempenho na avaliação afirmaram que o processo de ensino havia sido muito válido, pelo fato de terem

trabalhado em grupo (A4, A7, A12, A15). Isso evidencia que as aulas proporcionadas pela estratégia foram importantes para a socialização dos alunos, principalmente, para aqueles que apresentavam maior dificuldade em organizar e expressar seus pensamentos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

1. O ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA	167
2. A VISÃO DOS ALUNOS SOBRE MODELOS	169
3. A AVALIAÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O ENSINO POR MODELAGEM	170
4. O PROCESSO À LUZ DO DIAGRAMA 'MODELO DE MODELAGEM': CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO E AÇÕES ENVOLVIDAS PARA SEU DESENVOLVIMENTO	171

CONCLUSÕES

1. O ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA

Através da comparação dos estudos de caso, tornou-se possível responder as questões de pesquisa propostas nesse trabalho. Para responder a primeira questão de pesquisa (Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que alunos aprendam os principais aspectos conceituais relativos à ligação iônica?) identificamos quais elementos do processo de ensino foram importantes para a construção de conhecimentos de cada grupo e discutimos como essa importância foi observada em cada caso. Verificamos que no processo de ensino:

- elementos relacionados ao referencial teórico – diagrama Modelo de Modelagem – (evidências empíricas, idéias prévias, expressão dos modelos em forma verbal e concreta, teste e reformulação de modelos e verificação da abrangência e limitações de modelos) e
- elementos metodológicos ('questões geradoras' propostas pela professora, socialização de idéias, discussões nos grupos e discussões finais)

foram essenciais para o desenvolvimento de conhecimentos coerentes sobre ligação iônica. Ao perceber a importância desses elementos, constatamos semelhanças com os resultados obtidos nas pesquisas de Ferreira (2006) e Souza (2007), referentes aos principais elementos de estratégias de ensino fundamentadas em modelagem que favorecerem o aprendizado de outros temas químicos (equilíbrio químico e energia envolvida nas reações químicas, respectivamente) e de modelos dos alunos.

A partir dos vários elementos do processo de ensino ressaltados no parágrafo anterior, a maior parte dos alunos da turma (os que se engajaram mais durante o processo de ensino) foi capaz de desenvolver uma boa compreensão sobre os aspectos de ligação iônica desenvolvidos a partir da estratégia de ensino, o que foi constatado na avaliação final e enfatizado por alguns alunos na avaliação da estratégia de ensino (Atividade 9), quando os próprios reconheceram ter aprendido mais. Porém, é importante destacar que para que os elementos disponibilizados pela estratégia de modelagem (descritos no parágrafo anterior) realmente contribuíssem para o

aprendizado dos alunos, foi essencial o conhecimento prévio, por parte da professora-pesquisadora, das concepções alternativas sobre ligação iônica, relatadas pela literatura. Esse conhecimento foi essencial para dar suporte ao fornecimento de dados, testes e questões que minimizassem o desenvolvimento de modelos híbridos (Justi & Gilbert, 1999) ou um conhecimento muito superficial, por ser muito distante do científico (Nahum et al., 2007; Taber, 2005). Através dos dados fornecidos e dos testes realizados, a professora pode perceber se os alunos tinham simplesmente abandonado o modelo molecular e se apropriado de um modelo em rede sem de fato compreendê-lo – uma vez que os testes dos modelos demonstraram um conhecimento aplicado. Isso acarretou no não desenvolvimento de concepções alternativas sobre o assunto (por exemplo, no cloreto de sódio há apenas uma ligação devido à transferência de um elétron, as demais interações são apenas ‘forças fracas’ devido as cargas – destacadas por Taber, 1997).

Um amplo conhecimento sobre ligação iônica, por parte da professora-pesquisadora, também foi importante para que ela elaborasse e conduzisse as atividades favorecendo aos alunos oportunidades de desenvolver conceitos adequados em relação ao modelo curricular. Particularmente, podemos destacar algumas idéias químicas como importantes para isso:

- a propriedade periódica energia de ionização, imprescindível para se compreender a formação de íons, não restringindo a explicação à “transferência de elétrons” e “completar a camada de valência”, que são comumente empregadas no ensino tradicional (como destacado, por exemplo, por Barker & Millar, 2000; Nahum et al., 2007). Assim, ela não relacionou ligação iônica com transferência de elétrons do metal para o ametal, o que, provavelmente, contribuiu para o não surgimento da concepção alternativa ‘ligação iônica como doação de elétrons’ (Butts & Smith, 1987).
- o relacionamento envolvendo energia e estabilidade, essencial para a compreensão de ligação química como equilíbrio das forças atrativas e repulsivas, situação que leva à formação de uma substância mais estável do que átomos isolados;
- o modelo eletrostático, para que os alunos percebessem que suas idéias anteriores, expressas no modelo molecular, eram limitadas, não explicando propriedades importantes do cloreto de sódio, como a temperatura de fusão e as variações energéticas envolvidas em sua formação. Ademais, o modelo

eletrostático proporcionou o desenvolvimento de um raciocínio mais coerente com o modelo científico, não acarretando em o aluno adquirir um conhecimento ritual (Mortimer et al., 1994), baseado em regras e fórmulas;

Os conhecimentos sobre as concepções alternativas, o modelo eletrostático (como evidenciado anteriormente) e modelagem por parte da professora-pesquisadora foram importantes para que as atividades fossem elaboradas e conduzidas de forma coerente com o referencial teórico (decisões por sistemas e questionamentos que desafiassem os estudantes, sugestões que auxiliassem os alunos, disponibilização de recursos materiais diferentes, não julgamento dos modelos como corretos e incorretos, avaliação das limitações e abrangência dos modelos). Tal forma de conduzir o processo de ensino contribuiu para que boa parte dos alunos desenvolvessem conhecimentos sobre o modelo eletrostático para ligação iônica (o que fundamenta explicações para as propriedades dos compostos iônicos, tornando o assunto significativo para os alunos).

2. A VISÃO DOS ALUNOS SOBRE MODELOS

A fim de buscar respostas para a segunda questão de pesquisa (Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que os alunos aprendam sobre modelos?) foi utilizado, inicialmente, um instrumento de coleta de dados (Atividade 1) que nos possibilitou conhecer suas idéias prévias sobre modelos e a aplicação delas na classificação de alguns sistemas. Analisando o processo a partir dessas idéias, pudemos perceber se e como as mesmas influenciaram no processo de modelagem. Além disso, ao longo do processo de ensino obtivemos indícios de como os conhecimentos sobre modelos dos alunos foram modificados, pois através da evolução deles ao longo do processo de elaborar e aplicar modelos percebemos a utilização de um conhecimento tácito, algumas vezes não verbalizado. Com base nessas análises, concluímos que o desenvolvimento de conhecimentos sobre:

- modelos como representações parciais (simplificações) de um objeto, fenômeno ou idéia;
- modelos como auxiliares na visualização de entidades abstratas;
- modelos com função explicativa;
- possibilidade de existência de múltiplos modelos;

- necessidade de objetivo claro para construção de modelos;

foi possibilitado através (i) da consideração e discussão de modelos distintos para um mesmo sistema verificando suas abrangências e limitações; (ii) das solicitações feitas aos alunos para que construíssem modelos visando explicar algo; (iii) das discussões a respeito do que cada código de representação adotado em um modelo (concreto ou desenho) significava (iv) da necessidade de se utilizar modelos para explicar uma propriedade física em termos sub-microscópicos.

Através da análise das atividades de modelagem, percebemos uma evolução no pensamento dos alunos sobre modelos. Assim, nosso trabalho corrobora algumas pesquisas (por exemplo, Ferreira, 2006; Justi & Gilbert, 2003a; Morrison & Morgan, 1999) que salientam que o conhecimento sobre modelos se desenvolve na prática e que sua avaliação deve ser condizente com o processo de modelagem, ao invés de através de instrumentos que avaliam conhecimentos declarativos. Porém, reconhecemos que para que possamos afirmar se realmente os alunos modificaram algumas de suas concepções prévias sobre modelos em direção às idéias científicas seria necessário acompanhá-los em outros momentos nos quais pudessem aplicar seus conhecimentos sobre modelos em outras situações.

3. A AVALIAÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O ENSINO POR MODELAGEM

A partir da Atividade 9 e de conversas sobre o ensino por modelagem ocorridas ao longo da aplicação da estratégia (dos alunos com a professora e entre eles), obtivemos resposta para a terceira questão de pesquisa (Como os alunos percebem a influência da participação em atividades de modelagem em seu processo de aprendizagem?). Eles reconheceram que aprender através da nova maneira havia sido melhor, destacando elementos da proposta de ensino fundamentada em modelagem – testes e reformulações de modelos (G3), socialização entre os pares (todos os grupos) e oportunidade de construir seus próprios conhecimentos, ao invés de recebê-los ‘prontos’ (G3 e G4) – como aspectos que contribuíram para que eles aprendessem significativamente.

Alguns alunos demonstraram, na Atividade 9, concepções diferentes daquelas que haviam expressado na Atividade 2 sobre a visão dos cientistas. Por exemplo, alunos do grupo G3, que inicialmente disseram que os cientistas tinham dons que os tornavam

melhores pesquisadores e que o conhecimento era derivado da experimentação empírica, afirmaram posteriormente que os cientistas também constroem, testam e reformulam modelos. Isso pode indicar que a vivência do processo de modelagem colaborou para a desmistificação da imagem do cientista, uma vez que os alunos passaram a perceber que as descobertas estão relacionadas a um processo de construção. Por outro lado, alguns alunos de G2, que não se engajaram tanto no processo em comparação aos de outros grupos, continuaram demonstrando a idéia de ciência relacionada à inteligência dos cientistas. Por isso, acreditamos que intervenções semelhantes às relatadas nesta pesquisa devem estar presentes em outros momentos do ensino. Além disso, defendemos que a avaliação de aprendizagem dessa natureza deve ser realizada a longo prazo, para que se verifique se os conhecimentos relacionados ao processo de modelagem serão aplicados a outros contextos.

4. O PROCESSO À LUZ DO DIAGRAMA 'MODELO DE MODELAGEM': CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO E AÇÕES ENVOLVIDAS PARA SEU DESENVOLVIMENTO

Analisando o desenvolvimento do processo à luz do suporte teórico dessa proposta de ensino – diagrama Modelo de Modelagem – foi possível verificar como o inter-relacionamento das etapas nele apresentadas colaborou para a elaboração das atividades e o direcionamento do processo de ensino, o que acarretou em bom desempenho dos alunos nas atividades e na avaliação.

As atividades iniciais tinham o objetivo de permitir aos alunos 'ter experiência com o alvo'. Verificamos que isso ocorreu na Atividade 1, quando alunos afirmaram ter maior esclarecimento sobre alguns aspectos de modelo para a ciência (o que pudemos observar ao longo do processo) e na Atividade 2, quando se proporcionou aos alunos uma situação de modelagem e eles afirmaram ter compreendido a analogia da caixa preta com a situação ocorrida na ciência. A partir da Atividade 3, foram disponibilizadas idéias sobre abaixamento de energia e formação de ligação química através da interpretação de um fenômeno mostrado experimentalmente. Para que os alunos se engajassem nessa atividade, que tratava do relacionamento de aspectos abstratos, a professora escolheu um sistema com evidências interessantes para a discussão, que despertasse o interesse dos alunos. Percebemos que os alunos

apresentaram dificuldades em utilizar os conceitos discutidos na Atividade 3, como a relação entre menor conteúdo energético do sistema e maior estabilidade, na Atividade 5. Entretanto, o fato de o processo de modelagem ser cíclico possibilitou novas oportunidades para que essas idéias fossem retomados e novamente discutidas, às vezes com exposição de novos dados, o que resultou na compreensão, pela maioria dos alunos, da relação entre abaixamento de energia e maior estabilidade de forma coerente para explicar a estabilização do cloreto de sódio em rede nas Atividades 7 e 8.

Em todas as atividades, a professora selecionou aquilo que deveria ser explicado ao delimitar o problema, ou seja, 'definir os objetivos'. Como exemplo, na Atividade 5 ela definiu que os alunos deveriam propor um modelo que explicasse a formação e estabilidade do cloreto de sódio. Para que os alunos fossem desafiados e se engajassem nessa atividade, partiu-se de situações que os fizessem propor explicações para fenômenos corriqueiros de seu cotidiano. Isso os permitiu 'ter experiência com o alvo' e, a partir disso, 'selecionar a origem para o modelo' integrando seus conhecimentos prévios, de forma a definir características para seus modelos iniciais.

Com base nos dados obtidos a partir do processo de ensino, ficou mais evidente como conhecimentos prévios e novos dados ('ter experiência com o alvo') foram elementos importantes na elaboração e reformulação de modelos. Porém, não foi possível evidenciar qual era a fonte de origem dos modelos dos alunos ('selecionar a origem para o modelo'), porque isso não foi diretamente explicitado pelos mesmos. Isto pode ter acontecido porque a transferência analógica de relações entre as entidades pertencentes à fonte para aquelas dirigidas ao alvo era algo que ocorria mentalmente, mas difícil de ser explicitado verbalmente, ou, ainda, porque o processo de mapeamento de relações poderia não ser identificado pelos alunos.

Os modelos iniciais são construções mentais únicas de cada indivíduo sendo inacessíveis ao professor e aos colegas. A elaboração dos modelos mentais é algo inerente à cognição humana (Borges, 1999; Morrison & Morgan, 1999; Nersessian, 1999), portanto, intrínseco ao processo de modelagem. Isso porque quando o aluno pensa em uma forma de explicar um fenômeno, ele já está construindo um modelo, mesmo que não chegue à alguma conclusão ou perceba o processo desta maneira. Um modelo mental só se torna acessível a outros quando expresso, o que pode modificá-lo, visto que não é possível a total transposição dos pensamentos articulados em um

modelo mental para um modelo expresso (Gilbert et al., 2000; Morrison & Morgan, 1999).

No processo aqui analisado, os alunos, inicialmente, expressavam seus modelos mentais e os socializavam dentro do grupo. Em um segundo momento, eles os apresentavam para a professora. Ela sempre questionou os modelos no sentido de compreendê-los melhor ou de ajudar os alunos a aprimorá-los ou perceber idéias incoerentes. Quando eles atingiam um modelo consensual, este era apresentado para a turma, durante as discussões gerais. O modelo consensual era apresentado tanto em forma verbal quanto concreta. Essa fase se relaciona com os elementos 'produzir um modelo mental' e 'expressar em algum dos modos de representação' do diagrama Modelo de Modelagem.

A utilização de setas duplas entre a 'produção de um modelo mental' e a 'expressão do modelo em algum dos modos de representação' significa uma dinamicidade que foi observada no processo estudado. Isso porque nas discussões entre os componentes do grupo e deles com a professora, observou-se a exposição de modelos mentais (expressos verbalmente ou em forma esquemática) de um aluno para os demais que o analisavam e, através disso, contribuíam para modificações desse modelo mental. Portanto, na formulação do modelo consensual do grupo, os modelos mentais de seus componentes (ou de alguns deles) eram levados em consideração e integrados uns aos outros. Algumas vezes, o modelo consensual era muito próximo do modelo mental de um aluno do grupo. Entretanto, na maioria das vezes, ele resultou da integração de idéias no grupo. Portanto, a produção de modelos mentais, processo cognitivo inato de um indivíduo, ocorreu individualmente ou com o auxílio dos pares.

Ao se disponibilizar diferentes materiais aos alunos (massinhas, bolas de isopor lápis de cor, palitos etc.), verificamos a confecção de modelos distintos quanto à representação, mas com justificativas semelhantes, ou seja, a elaboração de múltiplos modelos para um mesma entidade, algo inerente ao processo de modelagem. Percebemos que isso ocorreu em função de os estudantes terem conhecimentos prévios distintos e enfatizarem alguns aspectos em detrimento de outros, por não perceberem a mesma relevância em todos os fatores que poderiam influenciar na modelagem. O fato de os alunos terem simplesmente unido as bolinhas através da massinha sem a presença de palito ou de terem colocado palito entre as bolinhas pode ser um exemplo disso. Ademais, a discussão sobre o significado desses códigos de representação foi

importante para o entendimento da existência de múltiplos modelos, o que, por sua vez, também influenciou significativamente nas discussões sobre o modelo consensual da turma e sobre o modelo curricular. A presença de diversos recursos não limitou os alunos a representar através de alguma convenção, valorizando a criatividade deles (Justi, 2006). Além disso, a discussão sobre os modos e códigos de representação dos modelos levou a adequações no modelo consensual dos grupos G1 e G3.

Na Atividade 6, tinha-se o intuito de fornecer um dado empírico aos alunos de modo a possibilitar a realização de um teste (na forma de experimento mental) para o modelo proposto na Atividade 5. Mesmo a professora tendo ressaltado várias vezes qual era o objetivo da atividade ('definir os objetivos'), os grupos não conseguiram responder ao que era solicitado. Portanto, eles não conseguiram efetivamente conduzir um experimento mental de forma a se concentrar em uma explicação para o gasto energético necessário para fusão do cloreto de sódio. Como no processo de modelagem a criatividade do aluno não foi limitada, surgiram modelos concretos representando a estrutura do cloreto de sódio líquido como resposta à solicitação feita.

O fato de os alunos não conseguirem realizar o teste de seu modelo inicial (Atividade 5) que poderia, à primeira vista, ser interpretado como uma falha da estratégia de ensino, é previsto no diagrama Modelo de Modelagem que, através de várias setas duplas, enfatiza a possibilidade de serem necessários vários testes (às vezes de natureza diferente, isto é, empíricos e mentais) para um determinado modelo. Além disso, neste caso particular, percebemos que grande parte da dificuldade dos alunos em repensar seus modelos 'NaCl molécula' originou-se do fato de as idéias que fundamentavam tal modelo, como a proporção 1:1 expressa na fórmula do cloreto de sódio, estarem fortemente arraigadas em suas estruturas cognitivas.

De posse dos conhecimentos adquiridos até então (experiências anteriores dos indivíduos) e com base nos novos dados empíricos fornecidos na Atividade 7 ('ter experiência com o alvo') os alunos dos grupos G1, G3 e G4, ao realizarem novos testes mentais, identificaram limitações em seus modelos anteriores e reconsideraram elementos que deram origem à elaboração de novos modelos ou modificações mais simples nesses modelos anteriores. No diagrama, isso corresponde às fases de rejeição ou reformulação de modelos quando os mesmos não 'passam' em algum teste.

Na Atividade 8, os modelos produzidos na atividade anterior foram testados através de experimentos mentais, o que também corresponde à fase de testes no

diagrama Modelo de Modelagem ('conduzir experimentos mentais'). Com os testes, os alunos puderam perceber se haviam atingido os objetivos propostos para a elaboração de um modelo que explicasse a formação e estabilidade do cloreto de sódio ('objetivo atingido'). A partir daí, um modelo consensual da turma pode ser construído. Na discussão, foram 'consideradas as abrangências e limitações' desse modelo consensual e, posteriormente, a professora apresentou o modelo curricular. Na discussão do modelo curricular, foram pontuadas semelhanças entre ele e o modelo consensual da turma (o que também se relaciona à 'consideração de abrangências e limitações' desses modelos).

Em síntese, a análise do processo de ensino corroborou:

- a utilização do diagrama Modelo de Modelagem na elaboração de estratégias de ensino fundamentadas em modelagem, o que foi evidenciado pela constatação dos elementos do mesmo presentes no processo de ensino cumprindo sua função definida no processo de modelagem, bem como pelo fato de o processo ser cíclico e dinâmico, contribuindo para os alunos perceberem que a construção de modelos é um processo não-linear através da própria prática;
- resultados de pesquisas anteriores (Barab et al., 2000; Ferreira, 2006; Raghavan & Glaser, 1995; Souza, 2007) sobre o aprendizado de ciências ocorrer e poder ser interpretado a partir de sucessivas construções e reconstruções de modelos.

CAPÍTULO 6

IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO E A PESQUISA

1. SOBRE A METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS EMPREGADA NA PESQUISA	177
2. O DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS NA ÁREA	178
3. O ENSINO DE LIGAÇÃO QUÍMICA	180

IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO E A PESQUISA

1. SOBRE A METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS EMPREGADA NA PESQUISA

Baseado nos cuidados tomados na coleta e análise de dados da pesquisa ora relatada (Capítulo 3), sugerimos que sejam levados em consideração alguns procedimentos metodológicos visando garantir a validade e a confiabilidade dos resultados de pesquisas na área de ensino de ciências:

- Definir claramente as questões de pesquisa, pois é a partir delas que serão definidos os instrumentos de coleta de dados.
- Utilizar método qualitativo se as questões de pesquisa se focarem em “como” e se for desejável conhecer significados e conseqüências, aspectos macro e micro, representativos e não representativos dos sujeitos e fenômenos pesquisados.
- Garantir a validade ecológica da pesquisa, isto é, a pesquisa deve ocorrer no cenário natural dos participantes e o pesquisador deve evitar manipular condições e variáveis.
- Utilizar múltiplos métodos de coleta de dados para garantir a validade interna da pesquisa mediante triangulação e possibilitar a interpretação de um fenômeno da forma mais completa e adequada possível.
- Garantir a validade ou confiabilidade dos instrumentos de coleta de dados:
 - a) Confecção de questionários – garantir a validade de conteúdo e construto, checando se o instrumento é capaz de cobrir todos os domínios ao qual pretende, se avalia conhecimento relevante em determinada área e se as questões são claras e objetivas. Isso requer julgamento de colaboradores com experiência na área a ser investigada.
 - b) Filmagem – o operador da filmadora deve ter conhecimentos sobre a pesquisa, focando a filmagem em aspectos que possam ser de interesse para o pesquisador e se movimentar o mínimo possível com a câmera a fim de evitar distração dos participantes.

- c) Observações e notas de campo – checar a relevância dos aspectos observados com outro pesquisador observador.
- Viabilizar a análise de vídeo através do uso de softwares, como o Videograph[®]. A utilização dos mesmos facilita o trabalho de análise de vídeo por proporcionar a demarcação de trechos, a organização dos eventos, das falas etc., facilitando o processo de transcrição.
 - Escrever estudos de caso na tentativa de responder as questões de pesquisa com foco no “como”, alertando-se para o fato de não tornar a descrição enfadonha através de dados irrelevantes e de tornar a descrição rica em dados que emergem dos vários instrumentos de pesquisa de forma a se complementarem mutuamente, possibilitando ao leitor uma visão de processos relevantes em ordem cronológica do fenômeno investigado. Os estudos de caso e a análise dos estudos de caso possibilitaram o entendimento de como os alunos pensam sobre certos fenômenos químicos.
 - Garantir a confiabilidade da análise através do acordo entre árbitros.

Tais cuidados metodológicos, apesar de discutidos na literatura da área, tiveram suas conseqüências evidenciadas em vários pontos deste trabalho. É a partir do reconhecimento da importância dessas conseqüências que reforçamos a recomendação para que eles não sejam negligenciados em pesquisas futuras.

2. O DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS NA ÁREA

Sendo coerentes com as sugestões de pesquisas anteriores (por exemplo, Clement, 2000; Justi & Gilbert, 2003a), nos preocupamos com a proposição de atividades específicas para discussão de modelos e modelagem na ciência a fim de disponibilizar conhecimentos necessários à construção de modelos na prática. Em relação à Atividade 2, é importante destacar sua relevância no aprendizado do processo de modelagem, principalmente, pelo fato de a maior parte dos alunos ter entendido o motivo da não abertura da caixa de acordo com as discussões sobre a natureza provisória e as incertezas do conhecimento científico. Nessa atividade emergiram várias concepções espontâneas dos alunos sobre a natureza do conhecimento científico (por exemplo, o conhecimento é derivado das observações, não há influências das experiências passadas,

de fatores motivacionais e sociais no desenvolvimento do conhecimento científico), coerentes com a visão de ciência do senso comum e freqüentemente apresentadas por alunos, como relatado na literatura (por exemplo, Lederman et al., 2002). A professora discutiu um pouco com os alunos sobre o processo de construção de conhecimentos na ciência. Porém, foi durante todo o processo de modelagem que alguns aspectos puderam ser melhor compreendidos por alguns alunos. Isso porque, ao terem que construir e aplicar conhecimentos e modelos, os alunos tiveram a oportunidade de perceber que a modelagem é um processo dinâmico, mutável, sujeito a erros, além de ser uma construção humana. Com base nas observações feitas nesta turma, em outras intervenções semelhantes (Mendonça, Lina, & Justi, 2006; Souza, 2007) e de acordo com a literatura (Fairbrother, 1989; Woolnough, 1989), concluímos que a avaliação sobre conhecimentos de modelagem (meta-modelagem) deve ocorrer através da observação da própria prática. Portanto, seria necessário desenvolver instrumentos específicos de coleta de dados a respeito de conhecimentos sobre modelagem, compatíveis com o processo de ensino vivenciado pelos alunos e, a partir deles, desenvolver outra pesquisa com esta finalidade específica⁴⁶.

A pesquisa realizada nesse trabalho foi específica para um tema, sendo aplicada em duas situações distintas: escola pública estadual (situação analisada nessa dissertação) e escola pública federal (ver mais detalhes em Mendonça e Justi (26 de novembro a 01 de dezembro de 2007)). Nesse segundo caso, obtivemos resultados semelhantes aos da turma pesquisada nesse trabalho (importância dos dados fornecidos na Atividade 7 para reformulação de modelos moleculares, importância da discussão sobre energia e estabilidade ocorridas nas Atividades 3, 5 e 7, significativa ausência de concepções alternativas relativas à aplicação do modelo de ligação covalente para substâncias iônicas nos modelos finais dos alunos etc.). Isso foi fundamental para a validação da estratégia de ensino e para reafirmarmos a necessidade de se discutir ligação química enfatizando os aspectos salientados nos itens 1 dos capítulos 5 e 6

⁴⁶ Uma dessas iniciativas (Schwarz & White, 2005) baseou-se na proposição e aplicação de um questionário a alunos de um nível de ensino correspondente ao nosso ensino médio que tinham estudado tópicos de física através de atividades de modelagem. O instrumento consta de perguntas abertas envolvendo questões que requerem conhecimento declarativo, resoluções de problemas e análise crítica de afirmativas sobre modelos e modelagem. Esse questionário é passível de críticas em função de muitas questões serem descontextualizadas e com excesso de exigência de conhecimento declarativo. Outra iniciativa com relação à avaliação de habilidades desenvolvidas durante o processo de modelagem no ensino médio está em desenvolvimento (Ferreira, 2007) em uma pesquisa de doutorado.

utilizando como alicerce o diagrama Modelo de Modelagem de maneira semelhante a discutida no item 4 do capítulo 5.

Sendo coerentes com os pressupostos de uma pesquisa qualitativa, não pretendemos estabelecer generalizações sobre o ensino fundamentado em modelagem a partir desses estudos para todas as situações de ensino. Assim, reconhecemos a necessidade de realização de outras pesquisas da mesma natureza para outros temas (visto o pequeno número de pesquisas sobre ensino fundamentado em modelagem já realizadas) e para o ensino fundamental, com o intuito de oferecer maiores contribuições que auxiliem na viabilização da aplicação de propostas de ensino fundamentadas em modelagem em contextos reais de sala de aula.

3. O ENSINO DE LIGAÇÃO QUÍMICA

Considerado os resultados desta pesquisa, podemos destacar aos professores do ensino médio que é possível utilizar o modelo eletrostático de forma a tornar o conhecimento dos alunos mais próximo do conhecimento científico. Ao utilizá-lo, é necessário:

- enfatizar que quando uma ligação química entre átomos é estabelecida, a substância formada é mais estável do que os átomos isolados, pois a energia do sistema é mínima devido ao equilíbrio entre as forças de atração e repulsão;
- utilizar dados termodinâmicos para justificar a estabilização das substâncias (no caso das substâncias iônicas, utilizar dados energéticos sobre energia de ionização e afinidade eletrônica para calcular a energia de rede e valores de energia liberada envolvida na formação de pares iônicos ou de rede iônica);
- desenvolver uma compreensão qualitativa sobre a Lei de Coulomb como instrumento para entendimento do conceito de ligação química e ressaltar que todas as ligações químicas se baseiam nessa lei, e que o que distingue uma ligação da outra é a magnitude dessa força. Dessa forma, não há necessidade de se frisar uma delimitação tão rígida entre compostos iônicos e moleculares através de classificações, que apresentam várias exceções⁴⁷. Isto também pode

⁴⁷ Por exemplo, o composto AlCl_3 apresenta temperatura de fusão bem mais baixa em comparação com outros cloretos (NaCl , CaCl_2). Isso é explicado pelo caráter covalente de sua ligação, mesmo ele sendo formado por um metal ligado a um ametal.

favorecer o desenvolvimento da capacidade de perceber as limitações dos modelos e de compreender os princípios mais gerais envolvidos no conceito de ligação química;

- aplicar o modelo eletrostático para explicação de propriedades dos compostos, como solubilidade, condutividade elétrica, dureza etc.;
- apresentar e discutir diferentes tipos de modelos e estruturas de compostos iônicos, enfatizando o significados das representações e relacionar ao plano de crescimento de cristais.

Outro aspecto a ser ressaltado se relaciona à questão lingüística utilizada no ensino de ligação química. Muitas vezes, cientistas raciocinam empregando analogias e metáforas. Professores podem até mesmo utilizar termos semelhantes, mas um cuidado especial deve ser tomado com o enfoque dado a esses termos. Isso porque os alunos podem empregar tais termos sem demonstrar real entendimento, ao contrário da maneira usada pelos cientistas e professores, que o fazem para facilitar a comunicação e o entendimento. Assim, deve-se tomar cuidado com o uso de termos do tipo “os átomos gostariam”, “o átomo empresta elétrons”, pois se a linguagem metafórica for aplicada em excesso, pode passar a ter um significado literal para os alunos, o que poderia contribuir para gerar explicações animistas e antropomórficas, atribuindo-se uma “vida secreta” à ligação química (Taber & Watts, 1996).

É importante salientar que para que a discussão dos aspectos relativos ao ensino de ligação química no ensino médio ressaltados anteriormente sejam eficazes quanto ao aprendizado dos alunos é necessária a inserção dos mesmos em estratégias de ensino que levem em consideração as suas idéias prévias e que os mesmos tenham oportunidades de aplicar tais idéias, aliadas a novos dados fornecidos no contexto de ensino, na elaboração de modelos explicativos e causais que podem favorecer a compreensão de temas e visualização de entidades de natureza fortemente abstrata. Em outras palavras, é necessário não apenas que o professor conheça a importância de tais aspectos no ensino, mas que os discuta apropriadamente, ou seja, que forneça aos alunos espaços para aplicar tais conhecimentos em situações e problemas. Isto é diferente de uma situação em que o professor explica as propriedades de compostos químicos aos alunos, pois nesse caso ele geralmente não tem noção se o modelo mental elaborado pelos alunos durante a explicação é coerente. Portanto, dar oportunidades aos

estudantes de evidenciar suas compreensões parece essencial para demonstrar a evolução de suas idéias e checar seus entendimentos.

O mesmo vale para discussão de diferentes tipos de estruturas para compostos químicos. Caso a discussão de diferentes modelos ocorra apenas a partir do professor, torna-se mais difícil perceber o entendimento e a ampliação da capacidade de visualização dos alunos. Entretanto, se os mesmos são convidados a analisar, construir e explicitar os códigos de representação dos modelos, a percepção da compreensão dos alunos de diferentes tipos de estruturas de compostos químicos tende a ficar mais acessível.

A modelagem, empregada neste trabalho, surge como uma possibilidade viável para atender a esses fins. Portanto, defendemos a necessidade da discussão dos aspectos energéticos envolvidos no estabelecimento de ligação química, das propriedades de compostos químicos e suas diferentes estruturas no âmbito da modelagem visando favorecer o aprendizado dos alunos em diferentes aspectos: compreensão do mecanismo da ligação (proposição de modelos explicativos e causais), explicação de propriedades (testar um modelo para prever e explicar comportamentos), desenvolvimento da capacidade de visualização (modelos concretos, diferentes modelos e discussão dos códigos de representação adotados) e capacidade de transitar entre os níveis de representação da química⁴⁸ (utilizar modelos para explicar observações macroscópicas em termos sub-microscópicos, utilizar modelos para entender representações simbólicas, por exemplo, a equação que expressa a Lei de Coulomb, através de modelos concretos que demonstram diferentes distâncias entre cargas).

Por fim, destacamos que para que essas discussões possam ocorrer no ensino médio é necessário, na formação inicial de professores de química, a ocorrência de:

- um estudo mais aprofundado sobre os modelos para ligação química como, por exemplo, os aspectos apresentados no Apêndice 1, e
- discussões sobre modelos e modelagem.

Isso porque (i) um dos pré-requisitos fundamentais para a discussão adequada dos conteúdos é o domínio, por parte dos professores, dos saberes disciplinares de sua área de conhecimento e dos saberes pedagógicos (Tardif, 2005); (ii) muitas das concepções

⁴⁸ O nível macroscópico está relacionado às observações dos fenômenos e suas evidências experimentais. O nível simbólico ou representacional está relacionado à linguagem própria adotada pela química, por exemplo, fórmulas e equações químicas. O nível sub-microscópico está relacionado às explicações para os fenômenos químicos baseados em descrições das partículas (Johnstone, 1982).

alternativas apresentadas por alunos do ensino médio são compartilhadas por professores de química (Taber, 2000). Neste artigo, Taber relata que a maioria dos professores pesquisados (que estavam em processo de formação) explicaram a estabilidade de compostos iônicos com base na regra do octeto e que isto foi, prioritariamente, consequência da escolarização anterior desses professores ou de livros didáticos de ensino médio/secundário, que algumas vezes são a única fonte de informação dos professores e (iii) muitos professores apresentam visão limitada de modelos na ciência, não os aplicam de forma adequada em sala de aula e desconhecem atividades de modelagem no ensino (Justi & Gilbert, 2002).

Tais aspectos, somados a experiências próprias⁴⁹, apontam que uma abordagem mais ampla de ligação química no ensino superior tem sido negligenciada. Portanto, torna-se necessário que professores do ensino superior dediquem atenção especial à discussão (i) dos modelos científicos para os tipos de ligações em uma abordagem que seja proveitosa para os futuros professores de química do ensino médio, por exemplo, trabalhando de forma interdisciplinar com as disciplinas específicas de formação dos saberes pedagógicos (ciências da educação, prática de ensino etc.); e (ii) da natureza do conhecimento científico, enfatizando modelos como um de seus principais produtos e modelagem como essencial no processo de construção do conhecimento científico.

Reconheço que a graduação deve disponibilizar elementos gerais para a formação inicial e fomentar a capacidade de os profissionais agirem como agentes autônomos responsáveis pela busca de conhecimentos que lhe forem mais importantes para o seu trabalho. Entretanto, um dos problemas dos profissionais da educação se relaciona, muitas vezes, a onde buscar elementos úteis para sua formação continuada. Isso porque muitas pesquisas (Carvalho & Justi, 2005; Mendonça et al., 2005; Monteiro & Justi, 2000) têm mostrado que os livros didáticos nem sempre cumprem o papel de fornecer elementos úteis ao professor no ensino, pois apresentam analogias, modelos e explicações incoerentes e obsoletas. Além disso, grande parte deles são muito semelhantes e escritos na perspectiva do ensino tradicional, distantes das exigências

⁴⁹ Em minha atuação no ensino médio, deparei-me com perguntas de alunos sobre aspectos importantes (por exemplo, “Por que o mercúrio é um metal líquido à temperatura ambiente?”) que não tinham sido discutidos em quaisquer das disciplinas que constituem os saberes disciplinares do curso de graduação. Em muitas disciplinas, o que ocorria era um estudo de assuntos complexos (teoria do orbital molecular, por exemplo), mas sem um relacionamento com aspectos que devem ser ensinados no nível médio. Assim, uma de minhas inquietações, sempre foi como responder aos alunos do ensino médio de forma correta, simplificando o modelo científico sem tornar o modelo curricular resultante desta simplificação incorreto.

contemporâneas para o ensino de ciências. Em relação a esse problema, julgamos ser importante, por exemplo, uma divulgação mais ampla das monografias de licenciatura (que são materiais excelentes para o professor buscar informações e opções de aulas inovadoras, de materiais didáticos produzidos nas universidades e de pesquisas na área de ensino), para que o professor conheça as novas propostas e problemas do ensino de forma a tornar as pesquisas educacionais mais próximas dos principais agentes de ensino; e, principalmente, o estabelecimento de parcerias entre professores dos níveis médio e universitário (tanto aqueles responsáveis pelas disciplinas de conteúdo quanto os responsáveis pelas disciplinas de cunho pedagógico), por exemplo, em cursos de formação continuada. Dessa forma, esses professores poderiam trabalhar juntos na elaboração de estratégias de ensino fundamentadas em modelagem para outros temas, assim como na discussão dos resultados obtidos nas salas de aula a fim de minimizar a compartimentalização dos conhecimentos dos professores do ensino médio. Durante esse trabalho, poderiam ser investigadas as ações dos professores no planejamento e condução do processo, com o intuito de fornecer elementos que seriam úteis para discussões dessa natureza na formação inicial de professores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS. (1990). *Science for All Americans - Project 2061*. New York and Oxford: Oxford University Press.
- Atkins, P., & Jones, L. (1997). *Chemistry: Molecules, Matter, and Change* (3rd. ed.). New York: W.H. Freeman and Company.
- Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 719-756.
- Barker, V., & Millar, R. (2000). Student's reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: What changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *International Journal of Science Education*, 22(11), 1171-1200.
- Baxter, J. A. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11(5), 502-513.
- Boo, H. K. (1998). Student's understandings of chemical bonds and energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581.
- Borges, A. T. (1999). Como Evoluem os Modelos Mentais. *Ensaio*, 1, 85-125.
- Brasil. (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.
- Brook, A., Driver, R., & Johnston, K. (1989). Learning process in science: a classroom perspective. In J. Wellington (Ed.), *Skills and process in science education: A critical analysis*. London & New York: Routledge.
- Butts, B., & Smith, R. (1987). Chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education*, 17, 192-201.
- Carvalho, N. B., & Justi, R. (2005). Papel da analogia do "mar de elétrons" na compreensão do modelo de ligação metálica. *Ensenanza de Las Ciencias*, 24, Extra.
- Chittleborough, G., Treagust, D. F., Mamiala, T. L., & Mocerino, M. (2005). Student's perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science & Technological Education*, 23(2), 195-212.

- Clement, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism - Protocol evidence on sources of creativity in science. In J. A. Glover, R. R. Ronning & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of Creativity* (pp. 341-381). New York: Plenum.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research Methods in Education* (5th ed.). London and New York: RoutledgeFalmer.
- Coll, R. K. (2006). The role of models, mental models and analogies in chemistry teaching. In P. Aubusson, A. Harrison & S. M. E. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 65 - 77): Dordrecht: Springer.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27, 183 - 198.
- Coll, R. K., & Treagust, D. (2003). Investigation of secondary school, undergraduate and graduate learner's mental models of ionic bond. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 464 - 486.
- Companion, A. L. (1964). *Chemical Bond*. London: McGraw- Hill.
- Cotton, F. A., & Wilkinson, G. (1988). *Advanced Inorganic Chemistry* (H. Macedo, Trans.). Rio de Janeiro.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401.
- Dasent, W. E. (1970). *Inorganic energetics*. Australia: Penguin Books.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10(6), 581-593.
- Erduran, S., & Duschl, R. A. (2004). Interdisciplinary Characterizations of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom. *Studies in Science Education*, 40, 105 - 138.
- Erickson, F. (2006). Definition and Analysis of Data from Videotape: Some Research Procedures and Their Rationales. In J. L. Green, G. Camilli & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of Complementary Methods in Education Research* (pp. 177-191). New Jersey: Lawrence Erlbaum.

- Fairbrother, B. (1989). Problems in the assessment of scientific skills. In J. Wellington (Ed.), *Skills and processes in science education: a critical analysis*. (pp. 99-114). London: Routledge.
- Ferreira, P. F. M. (2006). *Modelagem e suas Contribuições para o Ensino de Ciências: Uma análise no estudo de equilíbrio químico*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Ferreira, P. F. M. (2007). *Avaliação do conhecimento em modelagem*. Projeto de Pesquisa de Doutorado. Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Student's alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to a more authentic science education. *International Journal of Science Education*, 2, 115-130.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their use in Science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Harrison, & Treagust, D. F. (1996). Secondary Student's Mental Models of Atoms and Molecules: Implication for Teaching Chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Harrison, & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Harrison, A., & Treagust, D. F. (1998). Modelling in science lessons: Are the better ways to learn with models? *School Science and Mathematics*, 98(8), 420-429.

- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-562.
- Huheey, J. E. (1983). *Inorganic Chemistry principles of structure and reactivity*. San Francisco, London: Haper & Row.
- Ingham, A. M., & Gilbert, J. K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13(2), 193-202.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro and microchemistry. *The School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Justi, R. (2006). La Enseñanza de Ciencias Baseada en La Elaboración de Modelos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 24, 173-194.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (1999). A Cause of Ahistorical Science Teaching: Use of Hybrid Models. *Science Education*, 83(2), 163-177.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003a). Models and Modelling in Chemical Education. In J. K. Gilbert, O. d. Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. v. Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 47-68). Dordrecht: Kluwer.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003b). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Justi, R., & van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and Understanding Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwarz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learner's Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Licata, K. P. (1988). Chemistry is like a ... *The science teacher*, 55(8), 41-43.

- Mahan, B. M., & Myers, R. J. (1993). *Química: Um Curso Universitário* (K. A. Denise de Oliveira Silva, Flávio Massao Matsumoto, Trans.). São Paulo.
- Mathewson, J. H. (2005). The visual core of science: definition and applications to education. *International Journal of Science Education*, 27(5), 529-548.
- McWenny, R. (1979). *Coulson's valence*. London: Oxford University.
- Mendonça, P. C. C., Justi, R., & Ferreira, P. F. M. (2005). Analogias usadas no ensino de equilíbrio químico: Compreensões dos alunos e papel na aprendizagem. *Ensenanza de Las Ciencias*, 24, Extra.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. S. (26 de novembro a 01 de dezembro de 2007) *Transição do modelo 'NaCl molécula' para o 'NaCl em rede': Análise crítica de um processo de ensino por modelagem*. Trabalho apresentado em Florianópolis, Brasil.
- Mendonça, P. C. C., Lina, K. F., & Justi, R. (24 a 26 de julho de 2006) *"Ligando" as idéias dos alunos à realidade científica - uma proposta de ensino de ligação metálica através de modelagem*. Trabalho apresentado em Unicamp - Campinas, São Paulo.
- Merriam, S. B. (1988). *Case Study Research in Education - A Qualitative Approach*. San Francisco and London.
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College, London School of Education.
- Monteiro, I. G., & Justi, R. (2000). Analogias em Livros Didáticos de Química Brasileiros Destinados ao Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(2), 48-79.
- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. S. Morgan & M. Morrison (Eds.), *Models as mediators* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mortimer, E. F., Mol, G., & Paes, L. D. (1994). Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: dogma ou ciência? *Química Nova na Escola*, 17, 243 - 252.
- Nahum, T. L., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., & Krajcik, J. (2007). Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. *Science Education*, 91(4), 579-603.

- Nersessian, N. J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 5-22). New York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Passmore, C., & Stewart, J. (2002). A Modeling Approach to Teaching Evolutionary Biology in High Schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 185-204.
- Pauling, L. (1948). *The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals*. London: Oxford University.
- Pedrosa, M. A., & Dias, M. H. (2000). Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium and student alternative conceptions. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 227-236.
- Pimentel, G. C., & Spratley, R. D. (1969). *Chemical Bonding Clarified Through Quantum Mechanics*. San Francisco, California.
- Raghavan, K., & Glaser, R. (1995). Model-Based Analysis and Reasoning in Science: The MARS Curriculum. *Science Education*, 79, 37-61.
- Ramsden, E. (1994). *Key Science*. Cheltenham: Stanley Thorne.
- Reiner, M., & Gilbert, J. K. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489-506.
- Renstrom, L., Andersson, B., & Marton, F. (1990). Student's conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82, 555-569.
- Russel, J. B. (1985). *Química Geral*. São Paulo.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh grade students. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1205-1225.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing student's understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Shiver, D. F., Atkins, P. W., & Langford, C. H. (1994). *Inorganic Chemistry*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Skamp, J. G. (1994). Determining misconceptions about astronomy. *The Australian Science Teacher's Journal*, 40(3), 63-67.
- Souza, V. C. A. (2007). *Desafios da Energia no Contexto da Termoquímica: Modelando uma nova idéia para aquecer o ensino de química*. Dissertação de

- Mestrado, Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Taber, K. S. (1994). Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry*, 31, 100 - 103.
- Taber, K. S. (1997). Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework? *School Science Review*, 78, 85 - 95.
- Taber, K. S. (2000). *Trainee Science Teachers' Conceptions of Chemical Stability*. Retrieved 23/10/2007, from <http://www.leeds.ac.uk/educol>
- Taber, K. S. (2005). Learning quanta: Barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, 89(1), 94-116.
- Taber, K. S., & Watts, M. (1996). The secret life of the chemical bond: student's anthropomorphic and animistic references to bonding. *International Journal of Science Education*, 18, 557-568.
- Tan, D., Khang, N., Lian Sai, C., & Taber, K. S. (2005). *Development a two-tier multiple choice diagnostic instrument to determine A-level student's understanding of ionisation energy*. Retrieved 12/03/2007, from [www.educ.cam.ac.uk/eclipse/Tanetal\(2005\)ionisationenergy.pdf](http://www.educ.cam.ac.uk/eclipse/Tanetal(2005)ionisationenergy.pdf)
- Tan, D., & Treagust, D. (1999). Evaluating student's understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81(294), 75-83.
- Tardif, M. (2005). *Saberes docentes e formação profissional*. São Paulo: Editora Vozes.
- Taylor, I., Barker, M., & Jones, A. (2003). Promoting mental model building in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1205-1225.
- Teichert, M. A., & Stacy, A. M. (2002). Promoting understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 464 - 496.
- Treagust, D. F., & Chittleborough, G. (2001). Chemistry: A matter of understanding representations. *Subject-Specific Instucional Methods and Activities*, 8, 239-267.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Tyson, I., Treagust, D. F., & Bucat, R. B. (1999). The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 76, 554-558.

- Usberco, J., & Salvador, E. (1995). *Química - Química Geral*. São Paulo: Saraiva.
- van Driel, J., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of model and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1154.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 353-368). New York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Wellington, J. (1989). Skills and processes in science education: an introduction. In Routledge (Ed.), *Skills and process in science education: a critical analysis* (pp. 5-20). London.
- Woolnough, B. E. (1989). Towards a holistic view of processes in science education. In Routledge (Ed.), *Skills and processes in science education: a critical analysis*. London.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Ligação Química

De acordo com McWeeny (1979), para que uma teoria seja capaz de explicar determinado tipo de ligação química, é necessário que ela contemple adequadamente três princípios básicos: (i) o mecanismo da ligação, (ii) a estequiometria e o número de ligações e (iii) a estrutura da substância.

Para explicar o mecanismo da ligação devem ser enfocados os aspectos energéticos envolvidos. Para isso, é necessário justificar o abaixamento de energia (aspecto representado no gráfico de poço potencial) durante a formação de uma substância, a partir de átomos isolados. Para atender a esse fim, são propostas curvas teóricas que descrevem as forças atrativas e repulsivas entre os átomos, na tentativa de uma aproximação cada vez maior com o valor de energia medido experimentalmente. Na figura 1 é apresentado um gráfico com algumas curvas teóricas (*a-d, f*), em comparação com o a curva experimental (*e*), para descrição da variação de energia em função da distância internuclear na formação de moléculas de H₂, a partir de átomos de hidrogênios isolados.

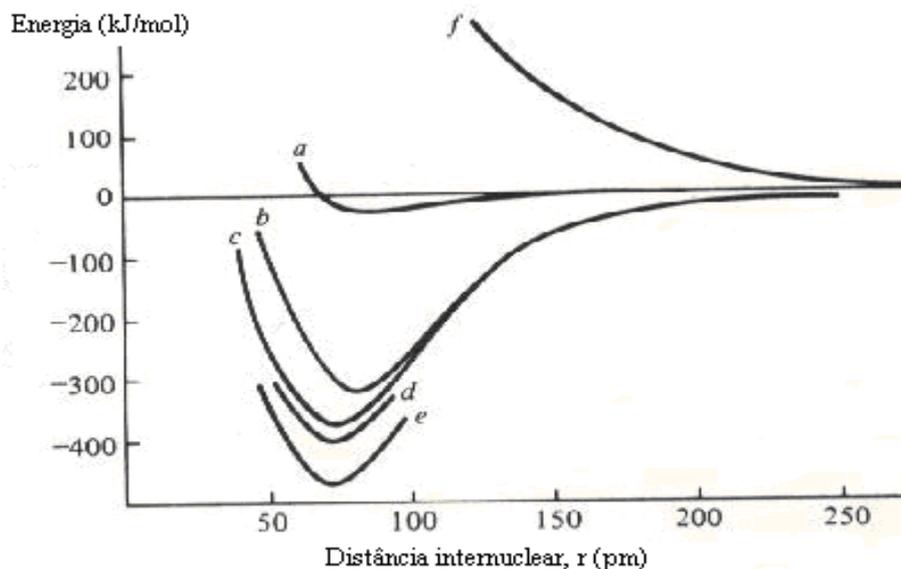


Figura 1. Curvas teóricas (*a-d,f*) para a molécula de hidrogênio, comparada com a curva experimental (*e*). (Huheey, 1983, p. 103).

No caso das curvas *a-d* foram realizados sucessivos ajustes na função de onda⁵⁰ para cada átomo. A cada ajuste nas expressões foram sendo obtidas curvas que se aproximaram cada vez mais da curva experimental (*e*), ou seja, que se aproximaram cada vez mais do valor de energia liberado na formação de 1 mol de moléculas de H₂. No caso da curva *f*, só foi levado em consideração a existência de forças repulsivas entre os átomos de hidrogênio (emparelhamento de elétrons de mesmo spin). Por isso, para essa curva, não é verificada a existência de algum decaimento de energia (poço). No quadro 1 são apresentados, simplificadamente, os tipos de função de onda para os átomos de hidrogênio, a energia liberada e a distância entre os átomos na situação de equilíbrio (situação no qual as forças de atração se igualam as forças de repulsão).

⁵⁰ Descrição mais completa possível de um sistema regido pela mecânica quântica. De acordo com a mecânica quântica, a descrição do sistema termina ao nível da função de onda, com suas probabilidades de posição, por exemplo, probabilidades de se encontrar um elétron.

Quadro 1. Funções de onda, energia e distância na situação de equilíbrio para a formação de 1 mol de moléculas de H₂. (Huheey, 1983, p. 96).

Curva teórica	Tipo de função de onda	Energia (kJ/mol)	Distância (pm)
<i>a</i>	$\Psi = \Psi_{A(1)}\Psi_{B(2)}$	24	90
<i>b</i>	$\Psi = \Psi_{A(1)}\Psi_{B(2)} + \Psi_{A(2)}\Psi_{B(1)}$	303	86,9
<i>c</i>	<i>b</i> + contribuição devida ao compartilhamento de elétrons	365	74,3
<i>d</i>	<i>c</i> + contribuição iônica	388	74,9
Valores observados experimentalmente		458,0	74,1

Nas funções de onda, Ψ_A corresponde a função de onda do átomo de hidrogênio A, Ψ_B corresponde a função de onda do átomo de hidrogênio B⁵¹, 1 e 2 correspondem aos elétrons. Simplificadamente, o que a expressão *a* demonstra é que cada átomo irá afetar a função de onda do outro. De acordo com a expressão *b*, o elétron 1 nem sempre estará com A e o elétron 2 nem sempre estará com B. Em *c* é levado em consideração o compartilhamento de elétrons e em *d* a formação de íons H⁺ e H⁻, ou seja, a transferência de elétron.

Através de uma análise do quadro 1, torna-se possível perceber que quanto mais refinada é a função de onda, no sentido de levar em consideração a contribuição de mais efeitos possíveis (por exemplo, o caráter iônico da ligação), os valores da energia e da distância calculados teoricamente ficam cada vez mais próximos dos valores experimentais. Portanto, torna-se desejável que um modelo, para um determinado tipo de ligação química, seja capaz de explicar o abaixamento de energia devido à formação de uma substância a partir de átomos isolados, através de uma aproximação significativa dos cálculos teóricos com os experimentais.

A seguir será realizada uma descrição mais detalhada sobre os modelos para a ligação iônica. Nessa descrição serão enfocados os aspectos energéticos e tecidos comentários a respeito do que cada modelo é capaz de explicar, de acordo com a argumentação apresentada por McWeeny (1979) (apresentado no primeiro parágrafo).

⁵¹ A função de onda para o hidrogênio, levando em consideração o orbital 1s, é do tipo $R = 2\left(\frac{Z}{a_0}\right)e^{-Zr/a_0}$,

em que: Z = carga nuclear, a₀ = raio da primeira órbita de Bohr, e corresponde a função exponencial e R(r) corresponde a dependência de Ψ em relação a distância radial do elétron ao núcleo (Huheey, 1983).

Ligação Iônica

1. Modelo baseado na regra do octeto

De acordo com a regra do octeto, os átomos tenderiam a adquirir uma configuração semelhante à de um gás nobre, perdendo ou ganhando elétrons. O modelo de ligação iônica baseado nesta regra prevê que ela ocorreria para os elementos químicos mais à esquerda da tabela periódica (metais, preferencialmente, os das colunas 1A e 2A) ligando-se àqueles que se encontram mais à direita (ametais, colunas 6A e 7A). Os metais cederiam os elétrons aos ametais, por possuírem baixa energia de ionização. Dessa forma, a formação de ligação iônica se daria mediante transferência dos elétrons de valência do metal para o ametal, situação em que ambos atingiriam a configuração eletrônica de um gás nobre. Através da doação de elétrons haveria uma atração entre pares de íons de carga oposta formados.

Existem compostos iônicos que obedecem a essa regra: são compostos formados por metais (M) das colunas 1A ou 2A e por ametais (A) das colunas 6A ou 7A, como, por exemplo, compostos dos tipos MA (LiF, CsCl), M_2A (Na_2O , Na_2S) ou MA_2 (CaF_2 , $BaCl_2$). Nesse caso, esse modelo seria útil para explicar apenas a estequiometria da substância, mas não seria útil para explicar o número de ligações efetuadas por cada átomo. Isso porque, de acordo com a fórmula da substância, por exemplo, NaCl, é sugerido que cada átomo de sódio se liga a um átomo de cloro, o que não corresponde à situação mais provável (cada Na^+ se liga a seis Cl^- e vice-versa), obtida por cristalografia de raios-x. É muito comum os elementos de transição não obedecerem à regra do octeto porque estes átomos usam orbitais e elétrons do subnível d da camada n-1 para a ligação (Russel, 1985). Assim, ela falha, por exemplo, para substâncias iônicas como CuI, $MnCl_2$ (Pimentel & Spratley, 1969).

O modelo da regra do octeto não leva em consideração explicações para formação de substâncias iônicas baseadas nas variações de energia que acompanham os processos de formação da substância a partir de seus átomos isolados, que são muito importantes para justificar a estabilidade das substâncias iônicas.

Na figura 2, apresentada a seguir, são mostrados os valores de energias de estabilização para formação de 1 mol de NaCl na forma de par iônico, quadrado iônico e da rede cristalina sólida.

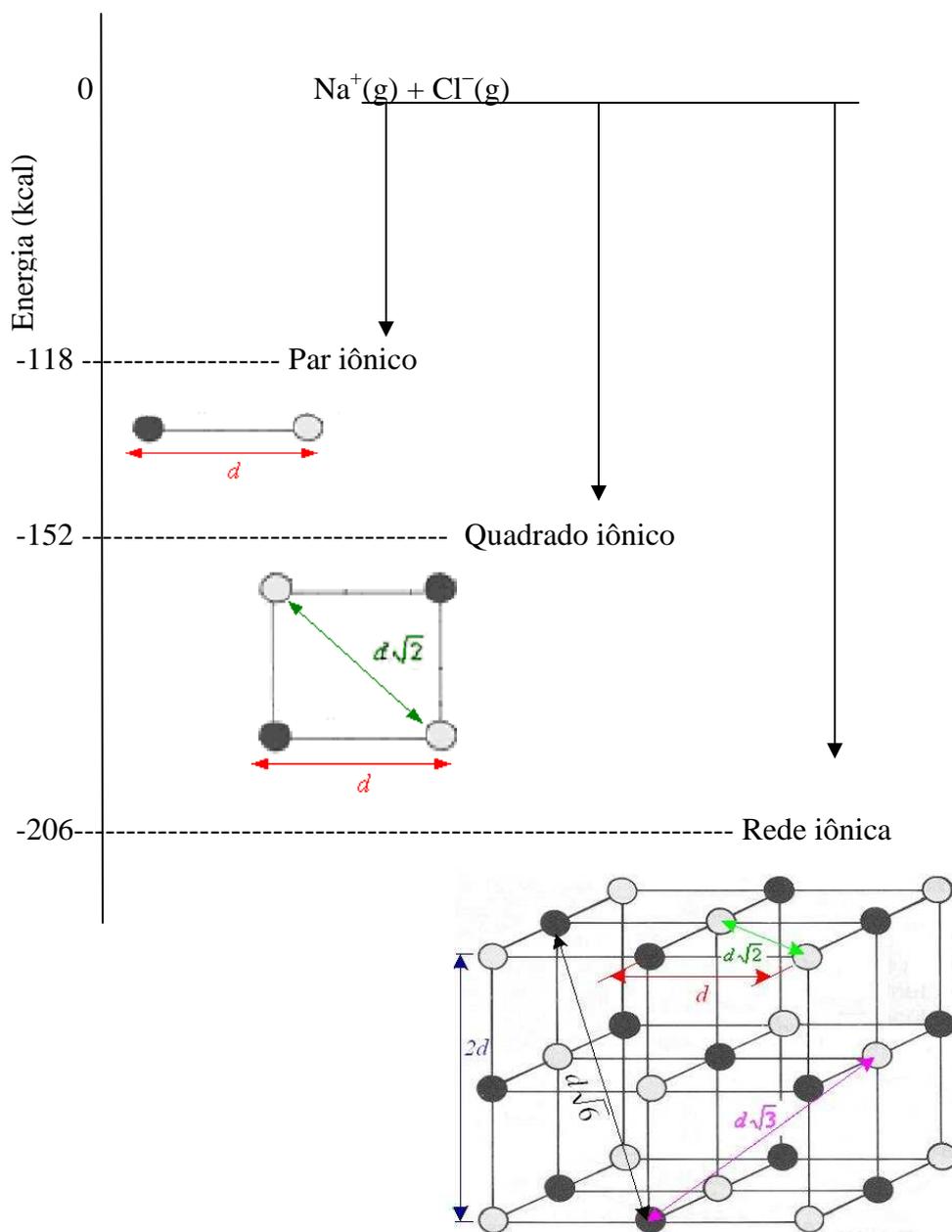


Figura 3. Análise trigonométrica do retículo do NaCl.

Figura 2. Energias de estabilização para formação de NaCl a partir de um mol de íons (Companion, 1964, p. 64).

Considerando-se as energias envolvidas na formação de NaCl a partir de um mol de íons para as três formas representadas na figura 2, torna-se possível concluir que a formação de par iônico não explica a estabilização dos compostos iônicos. Isto porque, através de medidas experimentais, percebe-se que a liberação de energia para uma estrutura mais organizada e complexa é maior do que a resultante de uma simples

atração. Com isso, conclui-se que o modelo baseado na regra do octeto, que levaria a formação de um íon Na^+ interagindo com um Cl^- devido a transferência de elétron, é incapaz de explicar as variações energéticas na formação do NaCl.

Além disso, utilizando-se o modelo baseado na regra do octeto, não é possível explicar as propriedades dos compostos iônicos, como, por exemplo, o fato de substâncias iônicas fundirem em temperaturas elevadas (NaCl , 808°C e MgO , 2800°C , por exemplo).

2. O modelo eletrostático e o cálculo da energia dos retículos cristalinos

O modelo para ligação iônica que será apresentado a seguir teve a contribuição de diversos pesquisadores, como Born, Haber, Madelung e Fajans (Pauling, 1948).

Um retículo cristalino pode ser imaginado como sendo um arranjo espacial, no qual os pontos são ocupados por íons. Esse arranjo se repete periodicamente, em três dimensões. A energia cristalina ou reticular pode ser calculada através de duas maneiras: teoricamente ou experimentalmente.

O modo teórico implica o cálculo das energias de todas as interações presentes entre as partículas do sólido, sejam atrações ou repulsões. Para efetuar esse cálculo tomando como base um modelo puramente eletrostático, é necessário considerar (i) que, no retículo cristalino, os cátions e ânions estejam localizados em um arranjo geométrico fixo e (ii) que os átomos apresentem simetria perfeita, podendo ser considerados como cargas puntiformes, de forma que seja possível usar adequadamente a expressão da Lei de Coulomb.

A equação 1, que segue a Lei de Coulomb, permite fazer esse cálculo para um par de íons A e B:

$$V_{AB} = \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 d_{AB}} \text{ (Equação 1)}$$

A equação 1 é a expressão para o cálculo da energia potencial coulombiana de um par de íons, em que Z_A e Z_B (expressos como múltiplos da carga e) são as cargas dos íons separados por uma distância AB e ϵ_0 é a constante de permissividade do vácuo.

A energia potencial de um cristal iônico do tipo MA, como NaCl, pode ser obtida através da soma de todos os termos V_{AB} de todos os pares de íons do cristal.

É possível efetuar o cálculo para o par iônico (figura 2), tomando-se como d a distância entre os núcleos dos átomos (comprimento da ligação):

$$V = \frac{(-1)(+1)e^2}{K.d}, \text{ em que } K = 4\pi\epsilon_0 \text{ (Equação 2).}$$

Se o mesmo cálculo for efetuado para o quadrado iônico (figura 2), levando-se em consideração todas as possibilidades existentes, temos que:

$$V = \frac{4(+1)(-1)e^2}{Kd} + \frac{(+1)(-1)e^2}{K\sqrt{2}d} + \frac{(-1)(-1)e^2}{K\sqrt{2}d} = \frac{2,586e^2}{Kd} \text{ (Equação 3)}$$

Porém, ao invés de ser formado o quadrado iônico, forma-se um retículo tridimensional de íons, como pode ser visto na figura 2. Pela análise da figura 3, é possível perceber que cada cátion Na^+ é rodeado por seis ânions Cl^- , e vice-versa, separados por uma distância d . Há ainda 12 cátions a um distância $d\sqrt{2}$, 8 ânions a $d\sqrt{3}$, 6 cátions a $d\sqrt{4}$, entre outras possibilidades que podem ser encontradas através de uma análise trigonométrica do arranjo do NaCl.

A expressão para energia potencial (V) para toda a estrutura consiste da soma de cada V_{AB} , levando-se em consideração todas as atrações e repulsões possíveis, analogamente ao efetuado anteriormente para o quadrado iônico.

$$V_{\text{retículo NaCl}} = - \left(6 \frac{z_+ z_- e^2}{4\pi\epsilon_0 d} \right) + \left(\frac{12}{\sqrt{2}} \frac{z_+ z_- e^2}{4\pi\epsilon_0 d} \right) - \left(\frac{8}{\sqrt{3}} \frac{z_+ z_- e^2}{4\pi\epsilon_0 d} \right) + \left(\frac{6}{\sqrt{4}} \frac{z_+ z_- e^2}{4\pi\epsilon_0 d} \right) \dots =$$

$$- \frac{z_+ z_- e^2}{4\pi\epsilon_0 d} \left(6 - \frac{12}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}} - \frac{6}{\sqrt{4}} \dots \right)$$

A soma contida nos parênteses é conhecida como constante de Madelung (A), portanto, para o NaCl, tem-se que:

$$V = \frac{-NZ_A Z_B e^2 A}{4\pi\epsilon_0 d}, \text{ em que } N = \text{constante de Avogadro. (Equação 4)}$$

A constante de Madelung já foi calculada para várias substâncias iônicas. No quadro 2 são apresentados alguns valores para essa constante.

Quadro 2. Valores para a constante de Madelung (A) (McWenny, 1979, p. 379).

Substância	Estrutura	A
NaCl	Cúbico de face centrada	1,748
CsCl	Cúbico de corpo centrado	1,763
CaF ₂	Fluorita	2,519
ZnS	Wurzita	1,641
TiO ₂	Rutilo	2,385

Essa constante se relaciona a todas as contribuições, em termos de atrações e repulsões, existentes em um determinado composto iônico. Ela foi calculada levando-se em consideração as simetrias das redes dos compostos iônicos. Por isso os valores para NaCl e CsCl são mais próximos entre si e muito distantes dos valores para CaF₂ e TiO₂. Conhecendo-se o valor dessa constante é possível fazer previsões sobre a provável estrutura cristalina da substância iônica.

A equação 4 apresenta a limitação de ter considerado as cargas como sendo puntiformes (o que possibilitou a utilização da Lei de Coulomb). Nesse sentido, o cálculo efetuado a partir dessa equação seria uma aproximação para a energia de ligação dos íons no cristal. Tratamentos mais rigorosos levam em consideração o fato de os íons não serem esferas rígidas, mas deformáveis (Pauling, 1948). Para refinamento do cálculo é introduzida mais uma parcela na equação de V, que se relaciona com a energia de repulsão proveniente da superposição das densidades eletrônicas dos íons vizinhos (Cotton & Wilkinson, 1988). De forma simplificada,

$$V = \frac{-Ae^2Z^2}{d} + \frac{Be^2}{d^n} \quad (\text{Equação 5})$$

em que: A = constante de Madelung, d = distância entre as cargas, B = constante e dⁿ está relacionado a distância d que pode variar em função da deformação dos átomos.

A primeira parcela da equação 3 se refere às forças atrativas, do tipo coulombiana. A segunda parcela se refere às forças repulsivas. Isso é uma forma matemática de garantir que se está considerando que os íons não são cargas puntiformes, ou seja, que eles não podem se aproximar indefinidamente uns dos outros, mesmo quando constituem um par cátion-ânion. A figura 4 apresenta as curvas de contribuições atrativas (1ª parcela da

equação) e repulsivas (2ª parcela) para a formação de um par iônico e o poço potencial gerado por elas.

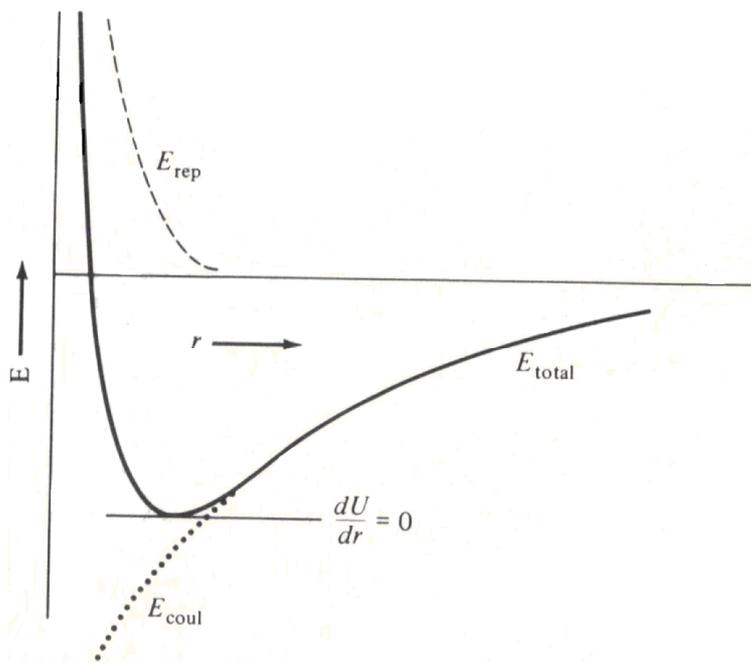


Figura 4. Curvas de energia para um par iônico (Huheey, 1983, p. 106).

Através da análise do gráfico é possível constatar que as forças repulsivas levam a um aumento de energia no sistema, enquanto as atrativas, a uma diminuição.

Como V é função de d , é possível derivar $V(d) \rightarrow V(d) = \frac{Ae^2Z^2}{d^2} - \frac{nBe^2}{d^{n+1}}$. Na

situação de equilíbrio é possível igualar $V(d) = 0 \rightarrow \frac{Ae^2Z^2}{d_0^2} - \frac{nBe^2}{d_0^{n+1}} = 0$. Resolvendo a

equação para B ⁵² $\rightarrow B = \frac{d_0^{n-1}AZ^2}{n}$ V pode, então, ser expresso como:

$$V = \frac{NAe^2Z^2}{d_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (\text{Equação 6})$$

Na equação 6, n pode ser obtido experimentalmente através da compressibilidade do cristal⁵³. A equação 6 leva em consideração o fato de os átomos não serem esferas

⁵² A equação foi resolvida para B (constante introduzida na equação 2 relacionada ao termo repulsivo) em função das demais variáveis porque é possível determiná-las experimentalmente.

⁵³ Variação relativa de volume provocada pela variação unitária de pressão (Cotton & Wilkinson, 1988).

simétricas. Essa limitação se relaciona também ao fato de a ligação iônica poder apresentar um certo caráter covalente.

De acordo com Pauling (1948), não se pode negligenciar a polarização que cada átomo exerce no campo elétrico do outro. A distribuição de carga simétrica e esférica (modelo puramente eletrostático) é, na realidade, distorcida. O íon Na^+ produz um forte campo elétrico que polariza o Cl^- , provocando uma distorção do íon esfericamente simétrico, o que resulta em os elétrons do Cl^- serem puxados em direção ao Na^+ (Mahan & Myers, 1993). A distorção do Cl^- na presença de carga positiva (Na^+) leva a um abaixamento de energia.

Correções ao modelo puramente eletrostático, levam em consideração que (i) a energia de atração tem uma pequena contribuição covalente, o que acarreta na polarização dos íons e que (ii) há existência de energia vibracional na temperatura de 0K (energia do ponto zero⁵⁴). Com base nessas considerações, torna-se possível obter uma expressão que leva a uma aproximação muito grande do valor de energia medido experimentalmente na formação de 1 mol de NaCl:

$$U = U_{\text{coulombiano}} + U_{\text{polarização}} + U_{\text{repulsão}} + U_{\text{ponto-zero}}, \text{ no qual } U = \text{Energia interna} \\ (\text{Equação 7})^{55}.$$

No quadro 3 são fornecidos os valores teóricos para cada tipo de energia que integra a expressão de U, o valor teórico da energia de rede e uma comparação desse valor com o experimental.

Quadro 3. Tipos de energia envolvidas no cristal de NaCl (McWenny, 1979, p. 352).

Tipo de energia	Valor
Coulombiano	-8,92eV
Polarização	-0,13eV
Repulsão	+1,03eV
Ponto-zero	+0,08eV
Valor da energia de rede calculado	-7,94eV por unidade de NaCl
Valor experimental da energia de rede	-7,86eV por unidade de NaCl

⁵⁴ A 0K a energia vibracional é diferente de zero, porque as partículas retêm $\frac{1}{2}$ da energia vibracional quântica ($h\nu^0$). A energia do ponto-zero é $\frac{1}{2} h\nu^0$, em que h é a constante de Planck e ν^0 é a frequência vibracional fundamental.

⁵⁵ Para a dedução das equações de forma mais detalhada para cada tipo de energia envolvida na expressão de U, ver Dasent, 1970, p. 74-84.

Como pode ser observado pelo quadro 3, o valor calculado teoricamente é muito próximo do experimental, apresentando erro de cerca de 1%. Se for levado em consideração o modelo puramente eletrostático para o NaCl, o valor encontrado também será muito próximo do experimental, pois, como pode ser visto na tabela 3, as outras contribuições são mínimas quando comparadas à coulombiana. Isso evidencia que para o NaCl, assim como para muitos compostos iônicos⁵⁶, o modelo eletrostático é satisfatório para explicar o mecanismo da ligação, enfocando as variações energéticas.

Em determinadas situações, as contribuições covalentes não poderão ser desprezadas no modelo eletrostático. Isso ocorre quando um determinado composto é favorecido por caráter covalente. De forma sintética, com base nas idéias de Fajans (1982), isso acontece quando no composto estiverem presentes: (i) cátions ou ânions que apresentam carga elevada ou (ii) cátions pequenos e ânions grandes. Isso pode ser explicado pelo alto poder de polarização ou habilidade de distorcer nuvens eletrônicas próximas apresentado por essas espécies, induzindo a uma covalência.

A maneira experimental de se calcular a energia do retículo cristalino se baseia no cálculo de Born, um ciclo termodinâmico. A idéia básica é a da formação do NaCl(s) a partir dos átomos de Na(g) e Cl(g), provenientes das substâncias simples Na(s) e Cl₂(g). Como são conhecidos os valores de cada variação de entalpia (ΔH) para cada etapa do processo (energia de atomização, sublimação, afinidade eletrônica, energia de ionização), torna-se possível calcular o ΔH do retículo, com base no valor experimental de energia liberada. Na figura 5 são mostradas as equações representativas para cada etapa do processo e no quadro 4 são fornecidos os valores de ΔH (kJ/mol) para cada etapa.

⁵⁶ O caráter covalente é mínimo para compostos que apresentem carga unitária e grande diferença de eletronegatividade, porque o efeito de polarização é mínimo.

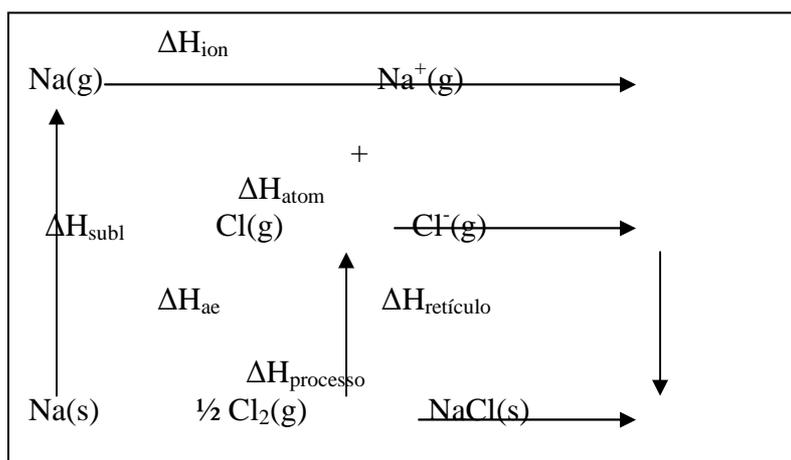


Figura 5. Etapas envolvidas na formação do NaCl(s) a partir de Na(s) e de $\frac{1}{2}$ Cl₂(g).

Quadro 4. ΔH (kJ/mol) para cada etapa do processo de formação do NaCl (Dasent, 1970, p. 71).

Etapa	Equação representativa
1. Energia de sublimação	$\text{Na(s)} \rightarrow \text{Na(g)} \quad \Delta H_{\text{Subl}} = +108\text{KJ}$
2. Energia de ionização	$\text{Na(g)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + \text{e}^- \quad \Delta H_{\text{ion}} = 496\text{KJ}$
3. Energia de atomização	$\frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Cl}(\text{g}) \quad \frac{1}{2} \Delta H_{\text{atom}} = 121\text{KJ}$
4. Afinidade eletrônica	$\text{Cl}(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g}) \quad \Delta H_{\text{ae}} = -348\text{KJ}$
5. Formação do retículo	$\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)} \quad \Delta H_{\text{retículo}} = x$
Processo global	$\text{Na(s)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)} \quad \Delta H_{\text{experimental}} = -411\text{KJ}$

Efetuando-se os cálculos: $\Delta H_{\text{Subl}} + \Delta H_{\text{ion}} + \frac{1}{2} \Delta H_{\text{atom}} + \Delta H_{\text{ae}} + \Delta H_{\text{retículo}} = \Delta H_{\text{experimental}}$, obtém-se que $\Delta H_{\text{retículo}} = -788\text{KJ}$.

No quadro 5 são apresentados os valores de ΔH (kJ/mol) obtidos teoricamente e através do método de Born para alguns compostos iônicos.

Quadro 5. ΔH (kJ/mol) obtido teoricamente e através do método de Born para alguns compostos iônicos (Dasent, 1970, p. 80).

Composto	$U_{\text{coulombiano}}$	$U_{\text{repulsão}}$	$U_{\text{polarização}}$	$U_{\text{ponto-zero}}$	$\Delta H(298\text{K})$ calculado	$\Delta H(298\text{K})$ Born
NaCl	-863	+114	-25	+8	-776	-788
CsI	-619	+90	-54	+3	-592	-602
AgI	-808	+138	-128	+3	-802	-891
CuBr	-925	+114	-64	+4	-882	-977

Através da análise desses dados é possível concluir que o método de Born é satisfatório para cálculo das energias de rede dos compostos iônicos de metais alcalinos. Porém, para AgI e CuBr as discrepâncias entre os valores teóricos e experimentais foram maiores. Esse erro pode ser explicado pela significativa contribuição covalente na ligação entre os átomos desses compostos.

3. Raio iônico e número de coordenação

Os arranjos diferenciados para as substâncias iônicas estão relacionados com os raios dos ânions e cátions. A estrutura mais estável para cada composto iônico é aquela que minimiza as forças repulsivas. Nessas estruturas, os cátions ficam localizados entre os ânions, ocupando os interstícios e impedindo o contato entre os ânions. Isso porque os ânions são quase sempre maiores que os cátions, pois o excesso de carga nuclear dos cátions os torna mais compactos, enquanto no caso dos ânions, o excesso de carga negativa provoca um aumento da nuvem eletrônica. A figura 6 ilustra essa idéia:

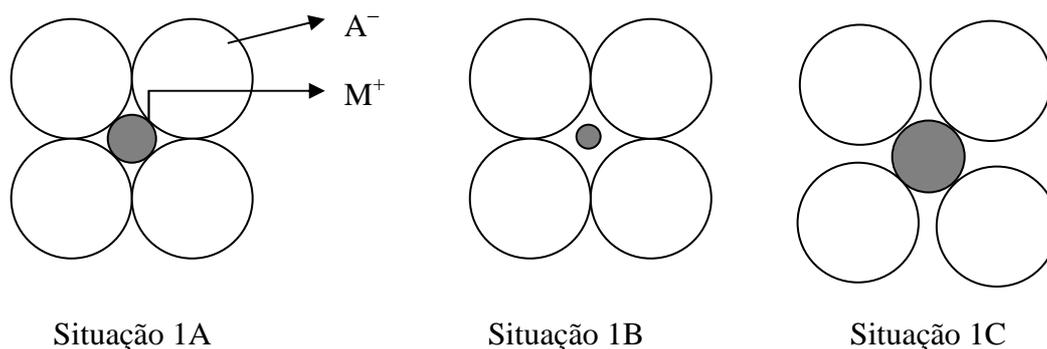


Figura 6. Tamanho relativo dos íons numa organização semelhante a do NaCl (Pimentel & Spratley, 1969, p. 69).

Na situação 1A, há um “encaixe” perfeito. Na situação 1B, o cátion é muito pequeno em relação ao ânion, portanto a coordenação 4, no plano, não é ideal para maximizar as atrações entre cátions e ânions. Situação não ideal ocorre também em 1C, pois é possível rodear o cátion com um número maior de ânions visando aumentar as atrações (Pimentel & Spratley, 1969).

A situação 1A se adéqua a cátions e ânions que tenham tamanhos comparáveis aos dos íons que constituem o NaCl. Nesse caso, o número de coordenação, isto é, o número de íons vizinhos a cada íon (NC) é 6, como pode ser visto na figura 7. Nesse caso, cada íon se liga a outros seis vizinhos.

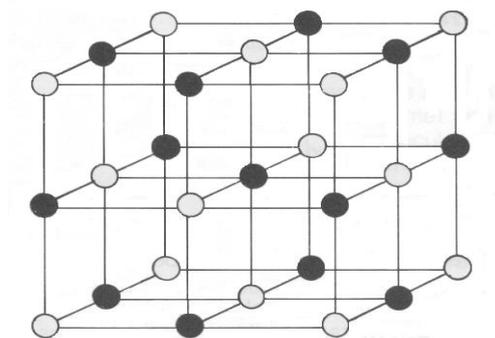


Figura 7. Estrutura do NaCl (NC = 6) (Obs.: Os íons não foram representados com esferas de tamanhos compatíveis).

Na situação 1B, quando M^+ é muito pequeno, há necessidade de outro tipo de organização, como a que ocorre em compostos como ZnS, minerais conhecidos como blendas ou esfaleritas, e na wurzita. Nesse caso o número de coordenação é 4. A figura

Porém, existem artifícios teóricos para converter as medidas de distância internuclear em estimativas de raios iônicos (Landé (1920), apud Pauling, 1948).

A primeira tentativa se obter as medidas dos raios iônicos foi feita por Landé em 1920. Ele assumiu que o íon Li^+ deveria ser o menor de todos os íons encontrados em cristais iônicos e que sua combinação com íons grandes de haletos causaria o “toque” entre os haletos, como pode ser visto na figura 10.

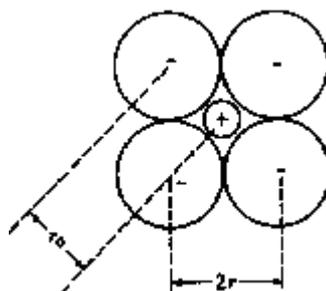


Figura 10. Tamanhos relativos de cátions e ânions de acordo com a hipótese de Landé.

De acordo com a figura 10, os íons Γ^- se tangenciam devido ao tamanho do íon Li^+ . Como a distância I-I é $2r$, metade desse valor corresponde a uma estimativa do raio de Γ^- . Como r_0 é obtido experimentalmente, sabendo-se o raio de Γ^- é possível obter o raio do cátion ($r_{\text{cátion}} = r_0 - r_{\text{ânion}}$). Os valores de raios iônicos obtidos através desse método (em que é necessário o tangenciamento dos ânions) apresentam grande precisão com valores de raios obtidos por outros métodos estimativos para metais alcalinos terrosos e halogênios.

Uma maneira prática de prever o tipo de empacotamento das substâncias se relaciona ao quociente entre os raios $\frac{R_{\text{cátion}}}{R_{\text{ânion}}}$, no modelo da esfera rígida.

O quadro 6 (Shiver, Atkins, & Langford, 1994) a seguir, mostra valores para essa relação e possíveis tipos de estrutura.

Quadro 6. Raios relativos e possíveis estruturas para os compostos iônicos.

Relação entre os raios	NC	Estrutura
$> 0,7$	8	CsCl e CaF_2
$0,4 - 0,7$	6	NaCl e Rutilo (TiO_2)
$0,1 - 0,2$	4	ZnS

É válido destacar que estas são apenas previsões de estruturas, pois a razão entre os raios representa tamanhos relativos dos íons, uma vez que estes variam em função da distância internuclear.

4. Propriedades dos compostos iônicos

Como os valores das energias dos retículos cristalinos são bem altos (o que implica em grande estabilidade dos compostos iônicos sólidos), é possível explicar a necessidade de se fornecer muita energia para que esses compostos possam se fundir. Isto justifica uma propriedade importante dos sólidos com grande caráter iônico: a elevada temperatura de fusão. Esse alto valor de energia requerido para a fusão está relacionado com a necessidade de deslocar os íons de suas posições num retículo cristalino bem organizado, com intensas atrações eletrostáticas.

A diferença de valores de temperatura de fusão para os compostos iônicos que se apresentam organizados num mesmo arranjo pode ser explicada pelo aumento ou diminuição da distância internuclear e das cargas iônicas. Isso porque, de acordo com a Lei de Coulomb, quanto maior a distância entre as cargas, menor a força de atração e vice-versa. Além disso, a diferença de temperatura de fusão pode ser explicada também levando-se em consideração o efeito do aumento ou diminuição da carga iônica, também em acordo com a Lei de Coulomb. Como exemplo, o MgO apresenta temperatura de fusão de 2800°C, enquanto que o NaCl, 808°C. No caso do MgO, a carga de cada íon é o dobro daquelas no NaCl, o que justifica o aumento da força de atração coulombiana.

No quadro 7 são apresentados os valores das temperaturas de fusão (TF) e ebulição (TE) e as entalpias (ΔH) e entropias (ΔS^{57}) de fusão e vaporização de algumas substâncias inorgânicas.

⁵⁷ Numa boa aproximação, pode ser definida, como o grau de desordem um sistema.

Quadro 7. Temperaturas de fusão (TF) e ebulição (TE) e as entalpias (ΔH) e entropias (ΔS) de fusão e vaporização de substâncias inorgânicas (Dasent, 1970, p.95).

Substância	Tipo de Substância	TF (K)	$\Delta H_{\text{fusão}}$ (kJ/mol)	$\Delta S_{\text{fusão}}$ (kJ/mol)	TE (K)	ΔH_{vap} (kJ/mol)	ΔS_{vap} (kJ/mol)
NaCl	Iônica	1074	29	27	1738	170	98
CaF ₂		1691	30	18	2773	310	112
MgCl ₂		988	43	44	1691	137	81
LiBr		823	12	15	1583	148	94
H ₂ S	Molecular	187,5	2,5	13	212,6	19	88
H ₂ O		273	6,0	22	373	41	110
NH ₃		195	5,6	29	239,5	23	97
Br ₂		265,7	10,5	10,5	331	31	94

Com base nos dados do quadro 7 é possível afirmar que:

- (i) o calor absorvido nas mudanças de fase dos compostos iônicos é muito maior do que dos compostos moleculares. Isso pode ser um indício de que na mudança de fase é necessário absorção de grande quantidade de energia para rompimento de ligações interatômicas para os primeiros. Em contrapartida, para os compostos da moleculares, a energia absorvida é necessária para rompimento de interações intermoleculares – mais fracas do que as ligações interatômicas;
- (ii) para os compostos iônicos, o calor absorvido na vaporização é consideravelmente maior do que o absorvido na fusão, indicando que quando o líquido evapora diminui a força da ligação em relação à fusão do sólido. Isso pode ser um indício de que, no estado líquido, os átomos que constituem esses compostos existem na forma de íons;
- (iii) para os compostos iônicos, a entropia aumenta muito mais significativamente na vaporização em relação à fusão. Isso pode ser um indício de que os átomos que constituem esses compostos estão muito mais organizados na fase líquida do que na gasosa.
- (iv) de acordo com os dados empíricos (de $\Delta S_{\text{fusão}}$) pode-se afirmar que as substâncias iônicas no estado líquido apresentam ligações semelhantes às da substância sólida, com a presença de íons de cargas opostas interagindo uns

com os outros. Comparando-se os dados de $\Delta S_{\text{fusão}}$ e $\Delta S_{\text{vaporização}}$ é possível justificar o fato de a substância cloreto de sódio ser encontrada na fase gasosa como moléculas de NaCl (Mahan & Myers, 1993; Pimentel & Spratley, 1969), ou seja, na fase gasosa são encontradas unidades fundamentais de NaCl, semelhantes a moléculas formadas por ligações covalentes, enquanto no líquido continuam existindo ligações interatômicas entre vários íons.

No caso da substância iônica no estado líquido, o movimento dos íons sob a influência de um campo elétrico justifica o fato de elas conduzirem corrente elétrica. O mesmo não ocorre com algumas⁵⁸ substâncias iônicas no estado sólido, porque mesmo apresentando íons, estes se encontram numa estrutura muito bem organizada, com pouco espaço para movimento dos íons, existindo, quase que exclusivamente, apenas movimentos de vibração em torno de suas posições, que podem ser consideradas como praticamente fixas. Como todos os íons ocupam posições bem definidas, não há um mecanismo no qual esses íons possam se movimentar sob a influência de um campo elétrico.

A solubilidade dos compostos iônicos em água é variável. O fator que melhor pode explicar a solubilidade em água é a variação da energia de Gibbs (ΔG_{298}^0)⁵⁹ para o processo: $MA(s) \rightarrow M^+(aq) + A^-(aq)$. A energia de Gibbs depende de outras duas grandezas, como pode ser visto na equação 8:

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 \quad (\text{Equação 8})$$

O índice 0 se refere à pressão constante de 1 atm e 298 é a temperatura padrão na escala kelvin.

O processo de dissolução ocorre em duas etapas, como mostrado no quadro 8:

Quadro 8. Etapas da dissolução de um composto iônico do tipo MA em água.

Etapa	Equação
Rompimento da estrutura cristalina em íons no estado gasoso.	$MA(s) \rightarrow M^+(g) + A^-(g)$
Dissolução dos íons em água com suas concomitantes solvatações.	$M^+(g) + A^-(g) \rightarrow M^+(aq) + A^-(aq)$

⁵⁸ Certas substâncias iônicas, como as cerâmicas, são condutoras no estado sólido.

⁵⁹ É uma grandeza que mede a extensão no qual determinado processo tende a ocorrer em determinadas condições. Se o seu valor é negativo, a ocorrência do processo é favorecida pelo decréscimo da energia livre. Caso contrário, a ocorrência do processo não é favorecida.

Em cada uma das fases, há uma variação de entalpia e entropia. Para o rompimento da estrutura cristalina há absorção de calor e no processo de dissolução, com posterior solvatação, há liberação de calor. Quando a energia gasta para a quebra do retículo for menor do que a energia liberada na dissolução/solvatação dos íons, o ΔH do processo será negativo, o que contribui ainda mais para o abaixamento da energia livre de Gibbs, o que torna a dissolução mais favorável.

No quadro 9 são apresentados valores de ΔG^0_{298} , ΔH^0_{298} e $T\Delta S^0_{298}$ para alguns compostos iônicos.

Composto	ΔG^0_{298} (kJ/mol)	ΔH^0_{298} (kJ/mol)	$T\Delta S^0_{298}$ (kJ/mol)
NaF	+2,6	+0,2	-2,4
NaCl	-9,0	+3,9	+12,9
NaBr	-17,0	-0,6	+16,4
NaI	-31,1	-7,6	+23,5
AgF	-14,4	-20,3	-5,9
AgCl	+55,6	+65,4	+9,8
AgBr	+70,2	+84,4	+14,2
AgI	+91,7	+122,3	+20,6

Quadro 9. ΔG^0_{298} , ΔH^0_{298} e $T\Delta S^0_{298}$ para algumas substâncias iônicas (Dasent, 1970, p. 136).

Através de uma análise do quadro 9 torna-se possível afirmar que:

- (i) o aumento da solubilidade dos sais de sódio se deve ao aumento negativo de ΔG^0_{298} , graças ao conseqüente aumento de $T\Delta S^0_{298}$ e à liberação de energia no processo de dissolução/solvatação em relação à energia gasta na quebra do retículo, ou seja, o aumento negativo de ΔH^0_{298} ;
- (ii) a diminuição da solubilidade dos sais de prata se deve ao aumento positivo de ΔG^0_{298} , devido ao aumento positivo de ΔH^0_{298} .

Com isso, conclui-se que o relacionamento desses dois fatores termodinâmicos (ΔH e ΔS) na expressão de ΔG é capaz de explicar a dissolução de compostos iônicos em água em termos energéticos.

O processo de solvatação ocorre a partir da formação de interações do tipo íon-dipolo. O íon positivo interage com o oxigênio da molécula de água (pólo negativo da molécula), por ser o átomo mais eletronegativo e por apresentar pares de elétrons não ligantes. O íon negativo interage com o pólo positivo da molécula de água – átomos de hidrogênio. A figura 11 mostra um modelo para o processo de solvatação de uma substância iônica por moléculas de água.

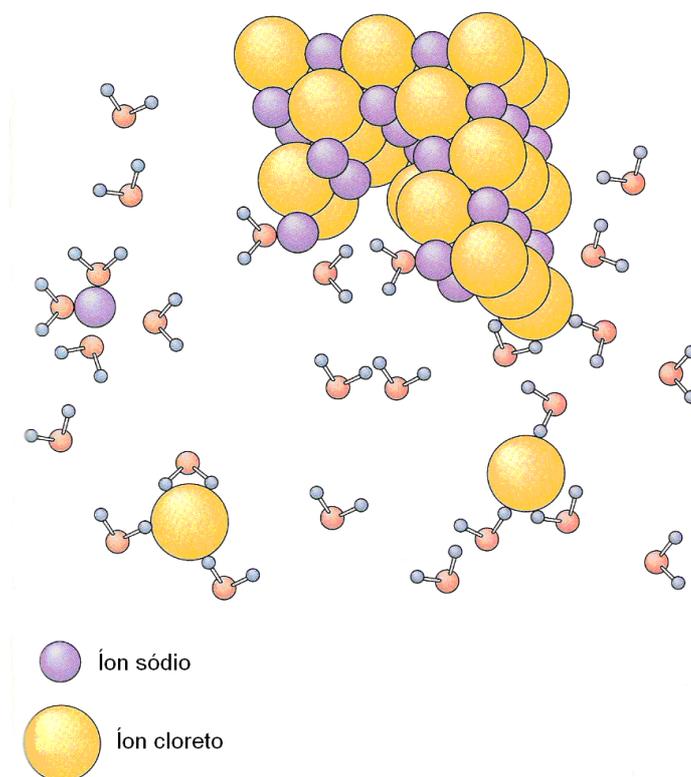


Figura 11. Modelo representativo da solvatação do cloreto de sódio.

Os compostos iônicos são duros e quebradiços. Isto significa que ao sofrer uma distorção, devido à aplicação de uma força, eles se estilhaçam rapidamente (Russel, 1985), ao contrário dos metais, que podem ser transformados em fios e lâminas. Essa propriedade pode ser explicada pelas diversas ligações iônicas fortes que dificultam o movimento dos íons de suas posições praticamente fixas. Para se distorcer um cristal iônico perfeito, dois planos de íons têm que se deslocar um em relação ao outro. Dependendo da natureza dos planos, quando uma força é aplicada num plano do cristal, as cargas opostas podem se aproximar umas das outras e levar a uma repulsão significativa entre os planos. Quando isso ocorre, o cristal se rompe, pois as forças de

atração são substituídas pelas forças de repulsão. Vale ressaltar que há planos nos quais os íons podem se movimentar um em relação ao outro sem que ocorra repulsão entre os íons de carga oposta. Esses planos são conhecidos como planos de clivagem do cristal.

A figura 12 apresenta um modelo que demonstra o que ocorre com uma substância iônica quando uma força é aplicada.

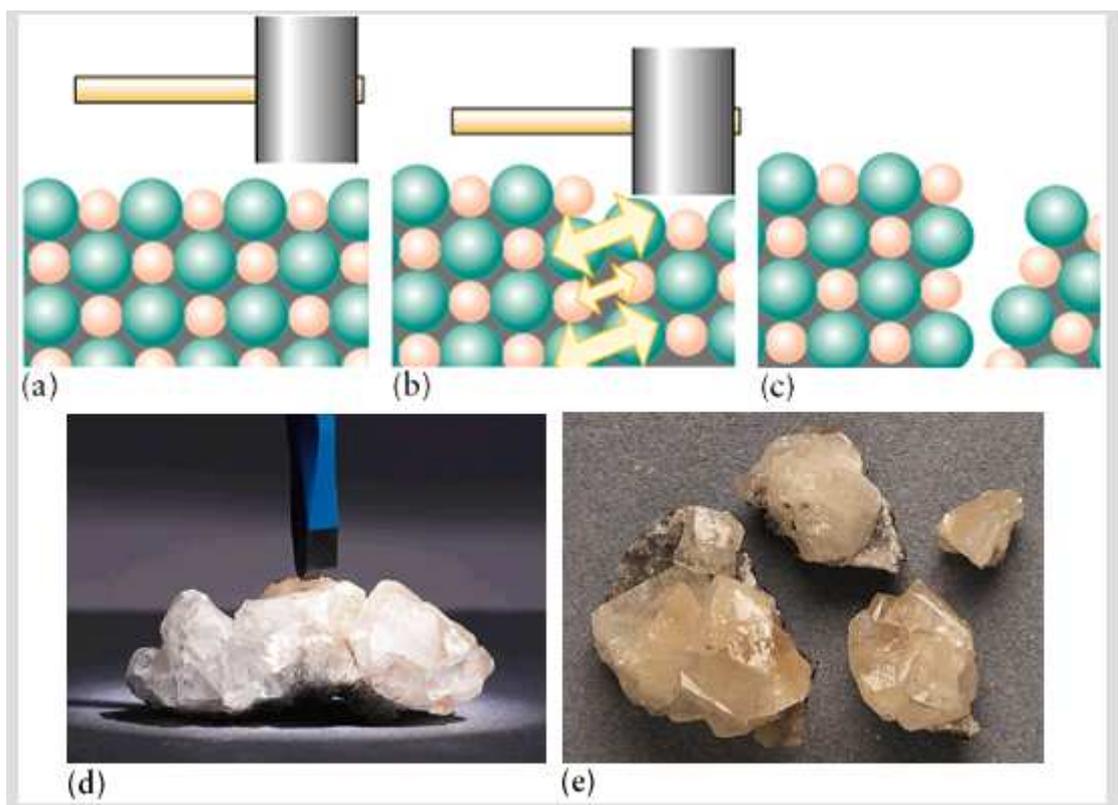


Figura 12. Fragilidade dos sólidos iônicos. (12a) Aplicação de uma força em um plano do cristal. (12b) Repulsão entre os íons de mesma carga. (12c) Ruptura do cristal. (12d) Aplicação de uma força sob uma calcita. (12e) Rompimento do sólido. (Atkins & Jones, 1997, p. 273).

Considerando o que foi exposto a respeito do modelo eletrostático para os compostos iônicos, é possível concluir que ele é um modelo capaz de explicar a ligação iônica, uma vez que satisfaz os três princípios básicos enfatizados por (McWenny, 1979) destacados no início deste texto, isto é, o mecanismo da ligação, a estequiometria e o número de ligações e a estrutura da substância.

APÊNDICE 2

Formulário de Consentimento de Participação em Pesquisa

Prezados alunos,

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que investiguem potenciais inovações no ensino. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado algumas pesquisas na área de ensino de Ciências que, cujos resultados têm sido discutidos com outros professores do ensino médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna do curso de Mestrado em Educação da Faculdade de Educação da UFMG, Paula Cristina Cardoso Mendonça, que é professora de Química de sua turma, durante o mês de novembro de 2006. Esta pesquisa tem o título de “Ensino de Ligação Iônica através de Construção de Modelos” e terá como objetivo avaliar a aprendizagem dos alunos sobre o tema ligação iônica quando ensinados por uma estratégia de modelagem. Para tanto, as aulas serão filmadas e o material escrito produzido por vocês, alunos, será reproduzido. Informo que todos os dados coletados serão utilizados exclusivamente para subsidiar a realização da pesquisa e nenhum aluno será identificado em quaisquer das instâncias em que a pesquisa for apresentada.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que o formulário em anexo seja preenchido e devolvido assinado até o dia 13 de novembro. Caso você não se interesse em participar desta pesquisa, poderá assistir aulas de química em outra turma na qual a pesquisa não será realizada, no mesmo turno e com a mesma professora.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato comigo pelo telefone 3499.5694.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, telefone 3499.4592.

Desde já, agradeço sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

Profa. Dr. Rosária S. Justi
Pesquisadora responsável

A U T O R I Z A Ç Ã O

Declaro que estou ciente de que as imagens filmadas em algumas aulas de Química conduzidas pela profa. Paula Cristina Cardoso Mendonça realizadas nos meses de novembro e dezembro de 2006 na Escola Estadual Margarida Brochado, assim como todo o material escrito produzido nessas aulas, serão utilizados na realização de uma pesquisa da área de Ensino de Química realizada na Universidade Federal de Minas Gerais.

Estando ciente de que minha identidade será mantida em sigilo, autorizo a utilização dessas imagens e do material escrito por mim produzido nessas aulas para os fins da pesquisa.

Nome do(a) aluno(a):

Assinatura:

APÊNDICE 3

A U T O R I Z A Ç Ã O

Após ter sido esclarecida sobre os propósitos e condições de realização da pesquisa “*Ensino de Ligação Iônica Através de Construção de Modelos*”, autorizo que a mesma seja desenvolvida em uma das turmas de primeiro ano deste estabelecimento de ensino.

Norma Suely Pedrosa de Castro Pereira
Diretora da Escola Estadual Margarida Brochado

APÊNDICE 4

Atividade 4⁶⁰

- 1) Todos nós temos uma idéia geral sobre o que seja um modelo. Utilizando essa idéia geral, analise os sistemas que lhe serão apresentados e classifique-os como modelos, ou não.

Sistema	Modelo		Por quê?
	Sim	Não	

- 2) Analise a tirinha da garota Mafalda apresentada a seguir:



- a) O que seria um *modelo* para a Mafalda?
- b) E para você, o que seria um *modelo*?

⁶⁰ Esta, assim como as demais atividades, serão apresentadas sem os espaços em branco destinados às respostas existentes nas folhas recebidas pelos alunos.

APÊNDICE 5

Atividade 2

- ★ Instruções: Seu grupo receberá uma caixa vedada contendo em seu interior um objeto. Vocês não poderão abrir a caixa e terão apenas o auxílio de um ímã ou de algum outro objeto que julgarem necessário.
- 1) Investiguem as características e proponham um *modelo* para o objeto que está dentro da caixa que seja satisfatório para explicar o seu comportamento.
 - 2) Quais foram as etapas que vocês julgaram importantes ao proporem o modelo?

“Em nosso esforço para compreender a realidade somos semelhantes a um homem tentando compreender o mecanismo de um relógio fechado. Ele vê o mostrador e os ponteiros em movimento, até ouve o seu tique-taque, mas não tem meio algum de abrir a caixa. Se for engenhoso, poderá formar alguma imagem de um mecanismo que poderia ser responsável por todas as coisas que observa, mas jamais poderá estar certo de que sua imagem seja a única capaz de explicar suas observações.”

(Albert Einstein & Leopold Infeld)

APÊNDICE 6**Atividade 3**

- ★ Se você observar à sua volta perceberá que a todo instante substâncias se transformam em outras. Mas, que fatores serão responsáveis por este rearranjo? O que determina a formação de uma substância e não de outra?
- ★ Nesta atividade você terá a oportunidade de pensar um pouco mais profundamente nas condições que determinam a formação das substâncias.

PARTE A

- ☆ Material: 1 vela, 1 clipe, 1 pinça de madeira, fita de magnésio.
- ☆ Procedimento:
 - Prenda um pedaço de fita de magnésio no clipe.
 - Prenda o clipe na pinça de madeira na região oposta à que se encontra o magnésio.
 - Acenda a vela e leve este sistema à chama.
 - Quando ocorrer alguma modificação no sistema retire-o da chama.
 - Anote suas observações na Tabela 1.
 - O sólido branco presente agora no clipe é o óxido de magnésio. Coloque o sistema na chama por mais um minuto e observe o que acontece com esta substância.
 - Anote suas observações na Tabela 1.

Tabela 1

Sistema	Observações	
	Durante o aquecimento	Após o aquecimento
Magnésio		
Óxido de magnésio		

Questões:

- 1) O que indica o aparecimento de luz quando o magnésio é aquecido?
- 2) Como você explica a formação do óxido de magnésio?
- 3) Por que o fogo é necessário na transformação de magnésio em óxido de magnésio?
- 4) A transformação de magnésio em óxido de magnésio ocorre também em flashes descartáveis de máquinas fotográficas. Como você explicar a ocorrência dessa transformação na ausência de fogo?
- 5) Revendo as observações anotadas na tabela 1, como você pode comparar a estabilidade dos dois sistemas (magnésio e óxido de magnésio)?

PARTE B

- ★ Quando estudamos a Tabela Periódica você ficou sabendo que a grande maioria dos átomos daqueles elementos é encontrada na natureza. Entretanto, a abundância em que cada um deles existe e as formas em que eles são encontrados varia imensamente de um elemento para outro. O oxigênio, por exemplo, existe não só nas substâncias simples gás oxigênio (O_2) e gás ozônio (O_3), como também em um número imenso de diferentes substâncias das quais a água, é sem dúvida, a mais importante e abundante.
- ★ Pensemos, agora, em átomos de outros elementos.

Questões:

- 6) Em que forma (mistura, substância simples, substância composta) são encontrados na natureza:
 - a) o ouro?
 - b) E o ferro?
- 7) a) Você acha que na Lua, ou em outro planeta, esses materiais seriam encontrados na mesma forma que aqui na Terra?
 - c) Que fatores influenciam a forma como um material é encontrado?

APÊNDICE 7

Atividade 4

- ★ A substância cloreto de sódio, o sal de cozinha, que utilizamos diariamente, é constituído por átomos de sódio (Na) e cloro (Cl). A questão que buscaremos explicar é como o cloreto de sódio é formado a partir desses átomos. Para isso, nessa atividade, vocês trabalharão na construção de um modelo para explicar a formação de íons.

⇒ Como vimos no primeiro semestre, energia de ionização (E.I.) é a energia necessária para retirar os elétrons de um átomo. Como mais de um elétron pode ser removido de um mesmo átomo tem-se a primeira, segunda, terceira, etc energia de ionização conforme o elétron removido seja o mais externo, o segundo mais externo e assim por diante, respectivamente. Quando esses elétrons são retirados o átomo deixa de ser neutro e a espécie resultante é um íon.

⇒ Na tabela a seguir são fornecidos os valores para a 1ª energia de ionização dos 20 primeiros elementos químicos da tabela periódica.

Tabela 1. Energia de ionização dos 20 primeiros elementos da tabela periódica.

Número atômico (Z)	Símbolo do elemento	1ª energia de ionização (eV)	Número atômico (Z)	Símbolo do elemento	1ª energia de ionização (eV)
1	H	13,6	11	Na	5,1
2	He	24,5	12	Mg	7,6
3	Li	5,4	13	Al	6,0
4	Be	9,3	14	Si	8,1
5	B	8,3	15	P	10,5
6	C	11,3	16	S	10,4
7	N	14,5	17	Cl	13,0
8	O	13,6	18	Ar	15,8
9	F	17,4	19	K	4,4
10	Ne	21,6	20	Ca	6,1

- 1) Analisando os valores na tabela e lembrando que um íon é uma espécie carregada positiva ou negativamente, proponha um modelo que explique como cada um desses tipos de íons é formado.
- 2) Qual é o íon mais estável formado a partir do átomo de sódio? Por quê?
- 3) Qual é o íon mais estável formado a partir do átomo de cloro? Por quê?

APÊNDICE 8**Atividade 5**

- ★ Na atividade anterior vocês propuseram um modelo para a formação de íons. A próxima questão a ser explicada é relativa à maneira com que esses íons interagem levando à formação do cloreto de sódio. Nessa atividade, vocês deverão propor um modelo que explique a interação entre os íons que vocês apresentaram anteriormente.
- 1) Considere um sistema formado de água e dos íons Na^+ e Cl^- . Desenhe um modelo que represente tal sistema.
 - 2) (a) O que acontece no sistema à medida que a água vai evaporando até secar? Construa um modelo que represente o sistema final. Justifique a escolha do material utilizado (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).

(b) Faça um desenho do modelo construído por seu grupo.
 - 3) Qual deve ser o tipo de interação entre esses íons?
 - 4) Por que você acha que esses íons estão interagindo e levando à formação de uma substância (no caso, o cloreto de sódio)?
 - 5) O que você pode dizer sobre a estabilidade da substância formada em relação aos seus constituintes iniciais (os átomos que lhe deram origem)? Por quê?

APÊNDICE 9**Atividade 6**

- ★ Como discutimos anteriormente, é necessário ter bem claro o objetivo para o qual um determinado modelo é elaborado. No nosso caso, o objetivo da construção do modelo é explicar a formação do cloreto de sódio e suas propriedades. Agora, iremos testar o modelo que foi proposto por vocês. Se o modelo conseguir explicar bem as propriedades do cloreto de sódio, ele será satisfatório. Caso contrário, deverá ser modificado.
- 1) A temperatura de fusão do cloreto de sódio é muito elevada ($TF = 808^{\circ}C$). Por isso não conseguimos fundir sal de cozinha na chama de um fogão à gás. O modelo proposto por você é capaz de explicar o valor tão elevado da TF do sal de cozinha? Como?
 - 2) Caso o seu modelo não consiga explicar esses experimentos você deverá reformulá-lo. Após a reformulação, explique quais aspectos foram modificados. Explique também porque eles foram modificados dessa maneira

APÊNDICE 10**Atividade 7**

- ★ Discutimos inicialmente que para que uma substância exista é necessário que ela seja mais estável que os átomos isoladamente. No caso do sal de cozinha, formado a partir dos íons Na^+ e Cl^- , este aspecto pode ser comprovado através de dados empíricos. O processo de formação de pares de partículas de cloreto de sódio a partir de um mol de íons de Na^+ e Cl^- libera uma quantidade de energia igual a 104,5kcal por mol de cloreto de sódio formado.
- Entretanto, quando a substância cloreto de sódio é formada, obtêm-se experimentalmente que a quantidade de energia liberada é de 206kcal/mol. Como esse processo libera mais energia do que o descrito anteriormente, o produto formado nele é mais estável que o formado anteriormente. Em outras palavras, existe uma outra forma de organização mais estável do que a resultante da simples atração de um íon Na^+ e um íon Cl^- .
- 1) Com base nessas informações, proponha um modelo que explique a atração entre os íons Na^+ e Cl^- levando a formação do cloreto de sódio. Pode ser utilizado qualquer material que o grupo queira (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).
 - 2) Registre no espaço abaixo o planejamento do grupo para essa atividade: material a ser utilizado e como o mesmo será construído. Justifique a escolha do material. Faça um desenho do modelo construído por seu grupo.
 - 3) O modelo construído nessa atividade é apenas uma modificação do modelo construído anteriormente (Atividade 5 ou 6) ou é um novo modelo diferente do anterior? Justifique a opção do grupo.

APÊNDICE 11

Atividade 8

- ★ Na Atividade 6 tínhamos um problema para ser explicado – a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio ($TF = 808^{\circ}C$). O modelo que tínhamos até o momento não explicava satisfatoriamente esse fato, por isso teve de ser reformulado (Atividade 7).
- 1) Através do modelo proposto na Atividade 7, tente explicar esse fato.
 - 2) Caso o modelo que vocês propuseram na Atividade 7 não explique bem esse fato vocês deverão reformulá-lo.

APÊNDICE 12

Textos disponibilizados aos alunos⁶¹**TEXTO 1 – A formação de substâncias que contém íons.**

Suponha uma solução de cloreto de sódio (sal de cozinha dissolvido em água). Imaginemos que, por aquecimento, a água seja evaporada. A solução, portanto, vai se tornando cada vez mais concentrada. Em outras palavras, os íons Na^+ e Cl^- da solução vão se aproximando, devido a uma atração de natureza eletrostática entre eles. Isto leva à formação de um agregado sólido: a substância cloreto de sódio.

A atração entre íons de cargas opostas é conhecida como LIGAÇÃO IÔNICA.

Discutimos que para que uma substância exista é necessário que ela seja mais estável que os átomos isoladamente. No caso do sal de cozinha, formado a partir dos íons Na^+ e Cl^- , este aspecto pode ser facilmente comprovado. O processo de formação de cloreto de sódio a partir de átomos de sódio e cloro (formação dos íons Na^+ e Cl^- e atração destes íons) libera uma quantidade de energia igual a 104,5 kcal/mol.

Quando se forma a substância cloreto de sódio cada íon Na^+ não atrai somente um íon Cl^- . Da mesma forma, cada íon Cl^- não atrai um só íon Na^+ . Isto ocorre porque as forças eletrostáticas não se esgotam como a formação de uma única ligação $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$. Como resultado dessas atrações mútuas forma-se uma rede onde em torno de cada íon se encontram seis outros de carga oposta, todos unidos por atrações eletrostáticas, isto é, por ligações iônicas. Desta maneira ocorre a formação do que podemos chamar “rede iônica”. A figura 1 ilustra uma unidade representacional da rede existente no cloreto de sódio. É importante observar que a substância final é neutra, isto é, o número de cargas positivas é igual ao número de cargas negativas.

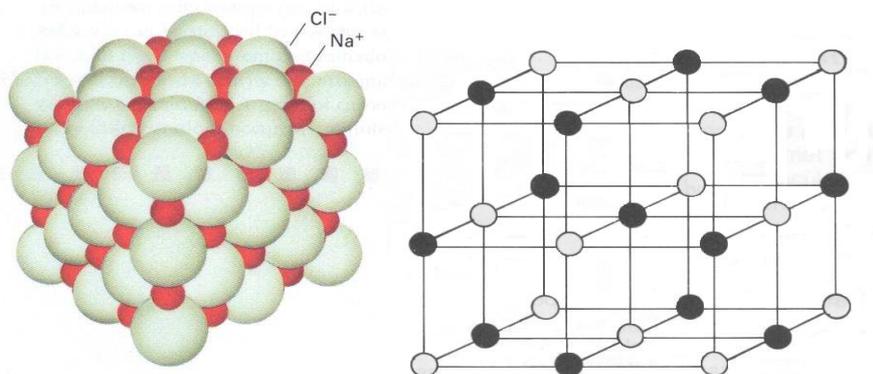


Figura 1. Unidade representacional da rede existente no cloreto de sódio.

A energia associada à formação da rede do cloreto de sódio é de 206kcal/mol, isto é, quando ocorre a formação de uma rede a partir de um mol de íons Na^+ e um mol de íon Cl^- ocorre liberação de 206kcal de energia. Comparando este valor com aquele obtido para a formação de atração entre um íon Na^+ e Cl^- (104,5kcal/mol) podemos perceber que a formação da rede iônica é mais estável.

⁶¹ Extraído de: Romanelli, L.I. & Justi, R.S. (1998). *Aprendendo Química*. Ijuí: Ed Unijuí.

Consideremos agora os elementos cálcio e flúor. O cálcio tende a formar íons do tipo Ca^{+2} , enquanto o flúor, F^- . A presença desses dois tipos de íons em um sistema também origina atrações eletrostáticas que conduzem a formação de uma substância. Entretanto, para que essa substância seja eletricamente neutra é necessário que o número de íons F^- presentes na rede seja o dobro do número de íons Ca^{+2} . Na rede da substância formada por estes íons, o fluoreto de cálcio, em torno de cada íon Ca^{+2} observamos a presença de oito íons F^- , enquanto em torno de cada íon F^- existem quatro íons Ca^{+2} .

Convencionou-se que para escrever a fórmula de uma substância formada por íons escreve-se inicialmente o símbolo do elemento químico que originou o íon positivo seguido do símbolo do elemento que originou o íon negativo. A proporção entre o número de átomos de cada elemento que existe na rede iônica é indicada por índices numéricos dispostos ligeiramente abaixo dos símbolos adequados. Assim, a fórmula da substância fluoreto de cálcio é escrita como CaF_2 .

Pela fórmula podemos constatar também que as substâncias iônicas são neutras. Consideremos, por exemplo, a fórmula do fluoreto de cálcio (CaF_2). O íon cálcio possui carga +2, enquanto cada íon fluoreto possui carga -1. Podemos então escrever:
 Carga total da substância = $(+2) + (-1 \times 2) = 0$

Raciocínio análogo pode ser feito quando desejarmos conhecer a carga de um dos íons constituintes de uma substância.

TEXTO 2 - As substâncias formadas por ligações iônicas

Todas as substâncias formadas através da atração eletrostática entre íons de cargas opostas originando uma rede são chamadas de SÓLIDOS IÔNICOS. É importante destacar que em todos os sólidos iônicos existe uma rede de íons de cargas opostas, mas que o arranjo dos íons na rede, isto é, o número de íons positivos que contornam cada íon negativo e vice-versa pode ser diferenciado dependendo, dentre outros fatores, do tamanho e da carga dos íons presentes.

O arranjo destes íons na rede confere às substâncias algumas propriedades, como por exemplo, elas se apresentam no estado físico sólido à temperatura ambiente. O quadro 1 indica os valores de temperatura de fusão e ebulição de alguns sólidos iônicos.

Quadro 1. Tipos de sólidos iônicos e suas propriedades.

Substância	Fórmula	Temperatura de fusão (°C)	Temperatura de ebulição (°C)
Cloreto de cálcio	NaCl	808	1453
Cloreto de sódio	CaCl_2	782	1600
Cloreto de cromo	CrCl_3	1150	1300
Óxido de cálcio	CaO	2600	2850
Óxido férrico	Fe_2O_3	1457	1565

A análise do quadro 1 evidencia que:

- ★ Os sólidos iônicos requerem altas temperaturas para serem fundidos e para entrarem em ebulição. Isto se dá, porque, para que ocorra a fusão, muitas ligações deverão ser rompidas na rede iônica.
- ★ A temperatura de ebulição é próxima da temperatura de fusão, porque a fusão ocasiona o rompimento de várias ligações eletrostáticas que são mais fortes no sólido em comparação às presentes no estado líquido.

Outras propriedades dos compostos iônicos:

- ★ São quebradiços, pois a aplicação de uma força causa repulsão entre íons de mesma carga devido ao movimento dos planos de átomos (exceto quando uma força é aplicada sob o plano de clivagem do cristal);
- ★ Conduzem corrente elétrica quando fundidos ou em solução aquosa, porque nesses casos os íons não estão mais unidos em rede, podendo adquirir liberdade para se movimentar.

Estudo dos textos 1 e 2

1. Quando ocorre a formação da ligação iônica?
2. Por que a formação de rede iônicas é mais estável que a formação de uma partícula simples?
3. Indique quais são os íons presentes nas seguintes substâncias iônicas:
 - a) cloreto de bário – BaCl_2
 - b) Cloreto férrico – FeCl_3
 - c) Sulfeto de zinco – ZnS
 - d) Óxido de ferro – Fe_2O_3
 - e) Sulfeto ferroso – FeS
4. a) Porque a temperatura de fusão dos compostos iônicos é tão elevada?
b) Observando os valores de temperatura de fusão e temperatura de ebulição de um mesmo sólido iônico (tabela 1) podemos constatar que, geralmente, a diferença entre eles é pequena. Como esse fato pode ser explicado?

APÊNDICE 13

Atividade 9

- ★ Agora vocês vão refletir sobre o processo que viveram nas últimas aulas.
- 1) Vocês gostaram de aprender sobre ligações iônicas a partir da construção e reformulação de modelos? Por quê?
- 2) O que vocês acharam mais difícil nesse processo? Por quê?
- 3) Como vocês comparam o processo vivido aqui na sala de aula com o processo de construção de modelos pelos cientistas? O que é diferente? O que é semelhante? Por quê?

APÊNDICE 14**Avaliação de Aprendizagem**

OBS: Responda as questões no verso da página ou em folha separada. Tente responder da maneira mais clara e completa possível.

- 1) Suponha que você tenha um amigo (também do 1º ano) muito interessado em saber como o cloreto de sódio (componente do sal de cozinha) é constituído e formado. Como você explicaria para ele, da maneira mais clara possível, como essa substância (cloreto de sódio) é formada a partir de átomos de sódio (Na) e cloro (Cl) inicialmente neutros?
- 2) Esse seu amigo dissolveu uma certa quantidade de sal de cozinha (cloreto de sódio) em uma quantidade fixa de água. Posteriormente, deixou essa mistura durante um tempo sendo aquecida pelo sol num dia de verão e verificou que a água evaporou e o sal de cozinha não. Deixou então, por mais 15 dias, esse recipiente contendo o sal de cozinha sob aquecimento do sol e verificou que nada tinha acontecido com o sal. Explique para o seu amigo, da maneira mais completa possível, porque o sal de cozinha não se fundiu, mesmo após ele o ter deixado sob exposição do sol por 15 dias.
- 3) Suponha que uma certa quantidade de cloreto de sódio sólida foi aquecida em um forno de uma usina que atinge temperaturas até 1000°C.
DADOS para o cloreto de sódio: Temperatura de fusão = 808°C e
Temperatura de ebulição = 1453°C.
 - a) Qual era o estado físico do cloreto de sódio quando o forno atingiu sua temperatura máxima?
 - b) Desenhe um modelo que represente como estariam as partículas constituintes do cloreto de sódio após esse aquecimento. Explique seu modelo.
 - c) Ainda haveria interação entre as partículas do cloreto de sódio após o aquecimento a 1000°C? Por quê? Em caso afirmativo, qual seria esse tipo de interação?
 - d) Como seria possível fazer o cloreto de sódio voltar ao seu estado físico original? Por quê?
 - e) Represente através de um modelo como estariam as partículas dessa substância no estado sólido. Justifique seu modelo.
- 4) Após todas as suas explicações, seu amigo ficou curioso a respeito de uma outra substância, o fluoreto de alumínio, AlF_3 . Para ajudá-lo, cite duas semelhanças e duas diferenças que existem entre essa substância e o cloreto de sódio.