

ARIADNE DOS SANTOS QUEIROZ

**CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO DE
LIGAÇÃO IÔNICA BASEADO EM
MODELAGEM AO DESENVOLVIMENTO
DA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO**

BELO HORIZONTE

2009

ARIADNE DOS SANTOS QUEIROZ

**CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA BASEADO
EM MODELAGEM AO DESENVOLVIMENTO DA
CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO**

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

2009

*“Olhar longamente as coisas é o que faz com que
você amadureça e as compreenda mais profundamente”.*

Vincent van Gogh

“Imagine”.

John Lennon

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora e amiga Rosária Justi, por ter me aceitado em seu grupo de pesquisa e por ter me incentivado a seguir buscando respostas e, principalmente, por ter confiado em mim. Agradeço por sua disponibilidade, sua compreensão, sua dedicação, sua paciência e seu respeito pelas pessoas e suas idéias.

Ao meu marido e melhor amigo Leonardo Massena, pelo amor, compreensão, ajuda e grande incentivo.

Aos meus amados pais, que sempre depositaram em mim toda a confiança e sempre esperaram que eu fizesse o que é certo.

Aos meus irmãos Taísa e Horácio, pelo apoio e encorajamento.

Às minhas queridas sobrinhas Sarah e Sofia pelo amor, carinho e por terem compreendido que a titia ficou meio sem tempo, durante um bom tempo.

À minha querida tia Dinalva, professora, por seu exemplo e o carinho especial a mim dedicado.

A todos os meus amigos, que compreenderam minhas ausências, e que torceram pelo sucesso desta pesquisa.

À Rejane, minha amiga, que me fez “ver” que era hora de voltar aos bancos da escola e me encorajou em todos os momentos em que eu fraquejei.

Aos participantes do Núcleo de Pesquisa em Educação em Ciências, que me acolheram e me ajudaram muito, muito mais do que possam imaginar.

À Paula, Poliana e Daniela, pelo suporte na coleta e análise de dados deste trabalho.

Aos professores Carmen, Tarciso, Danusa e Gilmar, por gentilmente terem aceitado ser os examinadores desta dissertação.

Aos professores do curso de Pós-graduação da Faculdade de Educação da UFMG, que contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo geral, investigar a influência de atividades de modelagem (i) no desenvolvimento da capacidade de visualização dos estudantes e (ii) na compreensão, por parte dos estudantes, do papel das representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico. Para tal, consideramos os elementos envolvidos na capacidade de visualização, de acordo com a literatura: compreender as convenções de representação comumente utilizadas em Química; traduzir um dado modelo entre os modos e submodos de representação nos quais ele pode ser apresentado; construir uma representação em qualquer modo ou submodo adequado a um determinado propósito; resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos; reconhecer a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas. O estudo foi conduzido a partir de uma situação de ensino do tema ligação iônica, conduzida através de atividades de modelagem. A turma pesquisada era constituída por 32 alunos da segunda série do ensino médio de uma escola pública federal de Belo Horizonte, todos pertencentes à faixa etária padrão para a série. Os alunos trabalharam divididos em grupos, um dos quais foi escolhido para a confecção de um estudo de caso. Os dados consistiram das atividades escritas e modelos produzidos pelo grupo no processo de ensino, de um questionário pós-instrução, respondido individualmente, dos registros das aulas em áudio e vídeo, das respostas de alguns dos estudantes em entrevistas, igualmente filmadas, além de anotações de campo feitas pela professora da turma. Com base na análise desses dados, concluímos que as atividades de modelagem favoreceram o desenvolvimento dos elementos envolvidos na capacidade de visualização e a compreensão, pelos alunos, do papel das representações na atividade científica.

ABSTRACT

This study aims at investigating the influence of modelling activities in both the development of students visualization abilities and students' understanding of the role of representations in scientific knowledge elaboration and communication processes. In order to do so, we consider the elements involved in visualization abilities, as defined in the literature: to understand the conventions of representation generally used in chemistry; to translate a given model between the modes and sub-modes in which it can be depicted; to construct a representation within any mode and sub-mode for a given purpose; to solve novel problems using a model-based approach; to recognise the importance of models concerning the creation and communication of scientists' ideas. The study was conducted from a modelling-based teaching for ionic bonding. The class was composed by 32 second year students from a federal public medium level school. The students worked in groups, one of which was chosen to build a case study. Data were obtained from several sources: the written activities and the models produced by the group during the activities, an individual post-teaching questionnaire, the video-recording of all classes, interviews with some students, and teachers' notes. From the data analysis, we concluded that the modelling-based activities favoured the development of the elements involved in visualization abilities as well as the students' understanding of the role of representations in scientific activities.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
SUMÁRIO	vii
Capítulo 1. Introdução	1
Considerações Iniciais.....	1
Estrutura da Dissertação	3
Capítulo 2. Revisão da Literatura	5
Dificuldades dos Estudantes ao Aprender Química	5
Habilidades Inerentes à Aprendizagem de Ciências	15
Modelos em Ciências e no Ensino de Ciências.....	19
A Expressão do Modelo: Níveis Representacionais	24
Representações e Aprendizagem de Química	28
Níveis e Modos Representacionais no Ensino e na Aprendizagem de Química	29
Representações Internas e Externas	35
Visualização em Ciências e em Ensino de Ciências	38
Metavisualização e Competência Representacional.....	44
Modelagem no Ensino de Química	57
O ensino de ligação iônica	67
Capítulo 3. Desenho Metodológico da Pesquisa.....	71
Questões de Pesquisa.....	71
Caracterização da Amostra	71

Metodologia de Coleta dos Dados	73
Metodologia de Análise dos Dados.....	77
Análise Inicial.....	77
Elaboração de Estudo de Caso	91
Análise das entrevistas.....	92
Análise final	93
Ensino de Ligação iônica – Planejamento da Estratégia de Ensino e Descrição Geral das Aulas.....	93
Contexto de Realização das Atividades.....	94
Atividade1: Modelos	95
Atividade 2: “Por que esta cola cola?”	96
Atividade 3: Formação do óxido de magnésio	97
Atividade 4: Formação do cloreto de sódio a partir das substâncias simples (Na(s) e Cl ₂ (g)).....	103
Atividade 5: Elaboração de modelo para o cloreto de sódio	106
Atividade 6: Temperatura de fusão do cloreto de sódio	110
Atividade 7: (Re) Elaboração de modelo para o cloreto de sódio, sendo dados valores experimentais de energia liberada.....	111
Atividade 8: Explicar, por meio do (novo) modelo para o cloreto de sódio, algumas propriedades dos sólidos iônicos e calcular a energia de rede para 1 mol de NaCl.	113
Questionário pós-instrução.....	118
Capítulo 4. Resultados	122
Introdução	122
Estudo de Caso do Grupo 1	122

Análise do Estudo de Caso do Grupo 1	164
Resultados e Análise das Entrevistas	181
Capítulo 5. Conclusões	207
Considerações Iniciais.....	207
Primeira Questão de Pesquisa.....	207
Segunda Questão de Pesquisa	219
Capítulo 6. Implicações para o ensino e pesquisa na área.....	222
Referências Bibliográficas.....	226
ANEXOS.....	233
Anexo 1. Roteiro Básico das Entrevistas	233
Anexo 2. Atividade 1.....	235
Anexo 3. Atividade 2.....	236
Anexo 4. Atividade 3.....	237
Anexo 5. Atividade 4.....	240
Anexo 6. Atividade 5.....	242
Anexo 7. Atividade 6.....	243
Anexo 8. Atividade 7.....	244
Anexo 9. Atividade 8.....	245
Anexo 10. Questionário Pós-Instrução.....	246

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Acreditando na importância do ensino de Química para formação do cidadão, o presente trabalho de dissertação busca se inserir no contexto das pesquisas voltadas para o ensino dessa ciência de forma diversa da tradicionalmente difundida nas escolas. Nós, educadores, temos consciência de que essa disciplina é, muitas vezes, alvo de descontentamento por parte dos estudantes. Cabe a nós assumir o compromisso de procurar romper com o ensino baseado na memorização de informações que não fazem sentido para nossos estudantes, e que certamente não conduzem à aprendizagem.

A tarefa não é das mais fáceis: a tendência à memorização passiva é tão dominante, que os estudantes memorizam qualquer tipo de material, reproduzindo as informações em testes, muitas vezes sem mesmo compreendê-las. Mammino (2008) afirma que a renúncia da memorização, em favor da interação com a aprendizagem, é essencial para que ocorra a mudança de um estado dos estudantes, de dependência, para outro de independência. Essa autonomia, no que concerne ao ensino de ciências, pressupõe que se forneçam aos estudantes oportunidades de participar de atividades científicas legítimas, em que sejam encorajados a formular e avaliar conjecturas, conclusões, argumentos etc., em situações que permitam discutir sobre o conteúdo estudado. Participando de discussões, os estudantes podem aprender conteúdos, mas também aprender práticas de discurso (Michalchik, Rosenquist, Kozma, Kreikemeier, & Schank, 2008). O professor pode apenas auxiliar nesse processo, porque conhecimento não pode ser transferido para seus estudantes.

No sentido de formar estudantes responsáveis pela própria aprendizagem, a realização de atividades em que eles criam e avaliam seus próprios modelos é defendida por vários autores (Ainsworth, 2008; Barnea & Dori, 1996; Carvalho, Queiroz, Justi, & Bastos, 2006; Justi, 2006; Justi & Gilbert, 2002a, 2002b; Justi, Gilbert,

& Ferreira, 2009; Maia & Justi, 2009; Mendonça, 2008; Michalchik et al., 2008; Schwarz & White, 2005; Treagust & Chittleborough, 2001; Wu, Krajcik, & Soloway, 2001). Segundo Justi (2006), no contexto da proposta de ensino de ciências por meio de modelagem¹, os alunos têm oportunidade de vivenciar aspectos excitantes e interessantes da produção do conhecimento científico, podendo se tornar capazes de formular questões mais críticas e pertinentes, de propor explicações e previsões e de avaliar o modelo proposto a fim de obter informações para a reformulação do mesmo. Além disso, o esforço dos estudantes para criar suas próprias representações pode ajudá-los a compreender os aspectos das representações produzidas pelos cientistas (Michalchik et al., 2008).

As dificuldades de aprendizagem de Química parecem ter sua origem principal no caráter abstrato dessa ciência. A natureza complexa da Química se deve, em grande parte, ao fato de esta ser uma ciência essencialmente visual, que exige o domínio sobre os modos e convenções das representações – que, na maior parte das vezes, relacionam-se a entidades submicroscópicas – para ser plenamente compreendida. A existência de três níveis representacionais – macroscópico, submicroscópico e simbólico – acentua essa complexidade, podendo representar, para muitos, um verdadeiro obstáculo à aprendizagem.

Acreditamos ser possível promover o desenvolvimento da capacidade de visualização em Química, ou seja, ajudar os estudantes a desenvolver a capacidade de conhecer e utilizar adequadamente as representações relacionadas a essa ciência, tanto para a elaboração quanto para a comunicação de conhecimentos. Para isso, consideramos que atividades de modelagem possam contribuir, não apenas para o

¹ Neste trabalho o termo *modelagem* é entendido como o processo dinâmico de elaborar, expressar, testar, modificar e utilizar modelos. Esse processo será detalhadamente discutido no capítulo 2, em que se faz uma revisão bibliográfica, e retomado ao longo de todo o trabalho, por constituir um dos eixos da presente pesquisa.

desenvolvimento das habilidades requeridas, mas também para que os estudantes compreendam o papel central das representações nessa ciência.

Neste trabalho, descrevemos a investigação de uma situação regular de ensino de ligação iônica, em que os estudantes participaram de atividades de modelagem. O objetivo da pesquisa aqui apresentada é verificar como tal estratégia de ensino contribuiu para que os alunos compreendessem (i) os modos e convenções de representação utilizados em Química e (ii) o papel das representações na elaboração e comunicação dos conhecimentos científicos. Como a pesquisa ocorre no contexto de ensino de ligação iônica, resultados referentes à aprendizagem desse conteúdo são também apresentados e discutidos, muito embora não seja esse o propósito do trabalho.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho de dissertação aqui apresentado está organizado em seis capítulos. Neste primeiro capítulo, faz-se uma introdução do trabalho, com uma exposição geral da pesquisa, que envolve modelagem e modos e convenções de representação utilizados em Química e no ensino de Química.

A seguir, no capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica, que aborda dificuldades dos estudantes na aprendizagem de Química, com ênfase naquelas que se relacionam a modelos e níveis representacionais, visualização em ciências e em ensino de ciências e competência representacional, temas que orientam esta pesquisa. Esse capítulo de revisão da literatura discute, ainda, a utilização da modelagem em propostas para o ensino de ciências, em geral, e de ligação iônica, especificamente.

O capítulo 3 apresenta o desenho metodológico da pesquisa, abrangendo as questões de pesquisa, as metodologias da coleta e da análise dos dados, a caracterização da amostra, bem como o contexto em que a pesquisa se realizou.

O quarto capítulo se refere aos resultados da pesquisa e é constituído por um estudo de caso e sua respectiva análise, além de resultados obtidos a partir de entrevistas.

O capítulo 5 traz as conclusões que a presente pesquisa nos permitiu delinear, no que se refere a cada uma das questões de pesquisa e à literatura em que a investigação se fundamentou.

O sexto e último capítulo é referente a implicações educacionais para o ensino de Química e sugestões de novas pesquisas na área.

CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA

DIFICULDADES DOS ESTUDANTES AO APRENDER QUÍMICA

O ensino e a aprendizagem de Química requerem uma série de habilidades por parte de educadores e estudantes que são, por muitos, consideradas difíceis. Faz parte do senso comum, a crença de que compreender Química é “para poucos”, somente para pessoas brilhantes ou muito inteligentes. Vários fatores contribuem para que essa visão seja disseminada. Buscaremos, neste capítulo, fazer uma revisão dos principais dentre esses fatores e de algumas² habilidades que são inerentes ao ensino e aprendizagem de Química.

A literatura da área de Educação em Ciências discute a visão que os estudantes têm dos cientistas e de como o conhecimento científico é produzido e modificado. Em uma pesquisa sobre essa visão (Kosminsky & Giordan, 2002), em que os alunos foram solicitados a representar cientistas por meio de desenhos, observou-se que a figura representada foi sempre de um indivíduo do sexo masculino, solitário, envolvido em seu próprio mundo e pouco preocupado com a aparência. Em relação ao trabalho desenvolvido pelo cientista, percebeu-se, pelos desenhos, que prepondera o caráter experimental e desconsidera-se, aparentemente, a troca de informações entre os pares e as elaborações teóricas. Os autores atribuem essa visão principalmente ao distanciamento de como se faz ciência e como ela é ensinada na sala de aula. Além disso, o público em geral exibe visões inadequadas sobre conceitos fundamentais e distorce as implicações de novos progressos ou revelações em ciência, tecnologia e medicina (Mathewson, 2005). Os veículos de comunicação têm uma forte influência nessa visão distorcida, especialmente a mídia televisiva que, no que diz respeito à

² Aqui discutiremos apenas (ou mais detalhadamente) as habilidades relacionadas com as questões de nossa pesquisa.

divulgação científica, muitas vezes privilegia o apelo ao sensacionalismo, dando pouca atenção ao processo de produção científica (Kosminsky & Giordan, 2002). Além disso, em geral, os estudantes desconhecem a natureza do trabalho científico, tanto quanto desconhecem o papel das representações de que o cientista lança mão, para a elaboração do conhecimento e comunicação desse conhecimento com seus pares.

A visão descrita acima reflete a familiaridade inadequada com a ciência e suas abordagens, o que, segundo Mammino (2008), se deve a várias causas: salas de aula lotadas; escassez de professores adequadamente preparados; abordagem de ensino que favorece (ou mesmo solicita) a memorização, enquanto negligencia (ou mesmo exclui) as interações e discussões. A autora destaca que a memorização passiva é incapaz de produzir uma percepção do que é ciência, visto que leva o aluno a adquirir a noção de que os conhecimentos são absolutos e imutáveis, e de que basta que sejam assimilados ou “decorados”.

Outra das dificuldades apresentadas pelos estudantes é causada por suas concepções prévias, que tendem a ser intuitivas e baseadas no senso comum e, em muitas ocasiões, contradizem a visão científica dos fenômenos químicos. Nas últimas décadas, pesquisadores e professores passaram a perceber que as idéias que os alunos trazem para a sala de aula – tenham sido elas elaboradas em situações cotidianas ou em anos anteriores de escolaridade – precisam ser consideradas na seleção e organização do conteúdo a ser ensinado, assim como na proposição de uma metodologia para o ensino do mesmo (Driver, 1983). Treagust, Duit e Nieswandt (2000) apontam para evidências de que aquilo que os estudantes já sabem é o fator chave na aprendizagem, pois os alunos a constroem sobre a base conceitual pré-existente, e esta é adquirida em seu cotidiano ou nas aulas de ciências. Segundo os autores, o conhecimento prévio dos estudantes pode ser acessado pelos mesmos para fazer conexões entre os novos conceitos e os antigos (os quais podem, ou não, conter concepções errôneas), ou seja, concepções prévias são as fundações sobre as quais novos conhecimentos são construídos (Treagust & Chittleborough, 2001). Quando os estudantes integram uma nova informação com o conhecimento prévio na memória,

eles constroem conexões mais fortes, que aumentam a probabilidade de que a informação seja armazenada na memória e subseqüentemente recuperada no futuro (Rapp, 2005). Infelizmente, muitos estudantes não estão construindo compreensões apropriadas de conceitos químicos fundamentais (Gabel, Samuel, & Hunn, 1987) e, por isso, não podem entender plenamente os conceitos mais complexos que se constroem a partir dos fundamentais (Nakhleh, 1992).

O conhecimento prévio influencia não apenas na subseqüente aprendizagem conceitual, mas também na percepção e atenção. Por essa razão, observam-se variações na maneira como os estudantes interpretam fenômenos, por exemplo, representados visualmente (gráficos, equações, desenhos etc.) (Cook, 2006; Cook, Wiebe, & Carter, 2008). As representações, de maneira geral, e aquelas que são específicas da Química, são impregnadas de conceitos. A compreensão inadequada desses conceitos acarreta uma inadequada interpretação das representações a eles relacionadas. Representações visuais em ciência não são simples entidades perceptivas, mas carregam um grande grau de conteúdo conceitual, abstrato e, muitas vezes, matemático (Ramadas, 2009).

Em situações nas quais o conhecimento dos estudantes é pobre e eles sentem os conceitos químicos como fora de seu alcance, não se pode garantir que ocorra uma aprendizagem significativa³ (Chittleborough, 2004). A situação se agrava quando os professores desconsideram ou superestimam o conhecimento prévio dos estudantes, não se preocupando em contextualizar a Química na vida cotidiana. No ensino de Química (e de todas as disciplinas), é importante que se tenha consciência dos conhecimentos que os alunos possuem, para que o professor tenha certeza de que eles serão capazes de realizar atividades propostas e para que se possam acompanhar

³ Aqui consideramos *aprendizagem significativa* segundo a perspectiva construtivista, isto é, como o processo por meio do qual um indivíduo relaciona o novo conhecimento aos conhecimentos prévios que ele possui.

os avanços com relação às mudanças conceituais⁴ que serão operadas (Carvalho et al., 2006). Portanto, pesquisas sobre o conhecimento prévio e as concepções alternativas⁵ (e sobre como verificá-los) são importantes para nortear e dar suporte ao desenvolvimento de estratégias de ensino que visem promover as mudanças conceituais que se fizerem necessárias para a efetiva aprendizagem. Gabel (1999) afirma que, embora pesquisadores em Ensino de Química tenham identificado concepções alternativas comuns para quase todos os tópicos ensinados em cursos introdutórios, provavelmente nove em dez professores não têm ciência dessas concepções ou não procuram levá-las em consideração durante a instrução. O conhecimento das concepções alternativas dos estudantes poderia ajudar o professor a identificar não apenas inconsistências nas idéias dos estudantes, mas também as origens dessas inconsistências.

Uma das concepções mais freqüentemente apresentadas pelos estudantes é relacionada à natureza da matéria. O senso comum e as experiências prévias dão suporte à crença na natureza contínua da matéria ao passo que, nas aulas de Química, assim como nos livros, se introduz e utiliza a descontinuidade para explicar os fenômenos (Nakhleh, 1992). Esta autora analisou algumas pesquisas sobre as concepções a respeito da natureza da matéria, revelando que muitos estudantes, de nível básico a universitário, trazem conceitos consonantes com a percepção da matéria como sendo contínua, preferivelmente à existência de partículas. Michalchik, Rosenquist, Kozma, Kreikemeier e Schank (2008) analisaram, em uma pesquisa realizada com alunos de ensino médio de uma escola norte-americana, uma representação híbrida de sal de cozinha dissolvido em água, presente em um livro didático, e o diálogo de um grupo de estudantes acerca dessa representação. Tal

⁴ O termo *mudança conceitual* é usualmente empregado para indicar o processo pelo qual os estudantes vivenciam mudanças graduais, de suas concepções prévias para as concepções científicas. O termo denota que essas mudanças são necessárias para a aprendizagem de conceitos e princípios científicos (Treagust et al., 2000).

⁵ Concepção alternativa, neste trabalho, é definida como proposto por Nakhleh (1992), como “qualquer conceito que difere da compreensão científica comumente aceita para o termo”.

representação foi classificada como híbrida, pois era um desenho no qual estavam representados tanto o aspecto macroscópico (desenho de um béquer com água líquida, colorida de azul), quanto o submicroscópico (interações entre íons do sal e moléculas de água). O mesmo estudante afirmou que a água era a “coisa azul”, mas *também* “as partículas representadas por bolinhas”. Acreditamos que representações desse tipo, muito comuns em livros didáticos, podem contribuir para a persistência da concepção da matéria como sendo contínua, uma vez que enfatizam o nível macroscópico. Em várias situações de ensino, os estudantes podem se sair bem em testes e exames porque poucas questões avaliam a compreensão no nível submicroscópico e, menos ainda, são formuladas para identificar concepções alternativas comuns (Tasker & Dalton, 2008).

Outro aspecto amplamente pesquisado a respeito das concepções que os estudantes apresentam em relação à matéria é a visão substancialista (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1986; Nakhleh, 1992; Rappoport & Ashkenazi, 2008; Treagust & Chittleborough, 2001), que atribui às partículas (átomos, moléculas, íons) propriedades inerentes às substâncias, como condutibilidade elétrica, cor e maleabilidade. Um exemplo em que esta concepção é evidenciada é a crença de que, sendo o enxofre uma substância de cor amarela, seus átomos devem ser também amarelos (Treagust & Chittleborough, 2001) ou de que os átomos de cobre devem ser maleáveis, refletindo essa propriedade do metal (Ben-Zvi et al., 1986). Treagust e Chittleborough (2001) e Ben-Zvi et al. (1986) afirmam que termos como átomos, moléculas etc. são utilizados nas aulas de Química, sem que seja verificado se os estudantes apresentam o modelo contínuo de matéria. Ben-Zvi et al. (1986) acreditam que uma possível explicação para a concepção substancialista, verificada em sua pesquisa, seria um conflito entre os dois modelos, o contínuo (intuitivo) e o particulado (científico), para a matéria. Os alunos podem ter a visão de que átomos ou moléculas são uma porção muito pequena da substância (contínua), o que justificaria a idéia de que as partículas possuem as propriedades do todo. Muitas vezes, os estudantes projetam o que se pode ver ou sentir no nível macroscópico (por exemplo, temperatura, cor) nas propriedades ou

comportamentos das intangíveis partículas submicroscópicas, esperando que os componentes se comportem como pequenas cópias do sistema observável (Rappoport & Ashkenazi, 2008). Infelizmente, essa dificuldade pode ser encontrada mesmo entre professores, como apontado por algumas pesquisas. Por exemplo, Gabel, Samuel e Hunn (1987), investigando as visões de futuros professores a respeito da natureza particulada da matéria, encontraram resultados preocupantes quanto à formação desses profissionais. Entre as concepções errôneas, detectadas por meio de desenhos produzidos pelos pesquisados, verificou-se a idéia de que os átomos se expandem durante a transformação de líquidos para gases, em vez de ocorrer o afastamento dessas partículas.

Ainda no que se refere ao senso comum, a linguagem também pode se constituir em uma barreira. Expressões usadas no cotidiano têm, muitas vezes, significados diferentes daqueles aplicados em Química. Por exemplo, costuma-se dizer que *o café está forte*, em vez de *o café está concentrado* e utilizar o termo *derreter*, em vez de *dissolver* (Gabel, 1999). A palavra *mistura* pode se referir ao ato de misturar (colocar algo fisicamente junto) ou a um sistema (por exemplo, vidro, sangue ou água potável) (Treagust & Chittleborough, 2001). O próprio termo *representação*, que é um dos eixos deste trabalho, também é ambíguo, segundo Hoffmann e Laszlo (1991), pois ele pode significar o ato de representar ou o resultado dessa ação. Gabel (1999) defende que o problema não é necessariamente relacionado à complexidade da Química em si e pode ser resolvido definindo-se cuidadosamente os termos e selecionando o vocabulário apropriado. Acreditamos que a definição desses termos deve ser feita pelo professor, pois os alunos poderiam não ter conhecimentos prévios necessários para fazê-lo. Nakhleh (1992) recomenda que os educadores introduzam termos científicos enfatizando as diferenças entre o significado cotidiano e o significado científico mais preciso. A linguagem que se utiliza para expressar conhecimentos científicos é parte do que, nesta pesquisa, chamamos de representações verbais (aspecto que abordaremos mais adiante).

A linguagem específica da Química é também um fator que dificulta que os alunos se sintam confortáveis ao estudar essa disciplina, pois a nomenclatura científica é como uma língua estrangeira e os estudantes podem se frustrar tentando relacionar nomes químicos à experiência cotidiana (Treagust et al., 2000). Mesmo os símbolos que os químicos utilizam podem ser interpretados de diversas maneiras. Gabel (1999) exemplifica este fato ao citar o caso do símbolo “Fe”, que pode significar um átomo de ferro ou o material ferro. Esse e outros exemplos justificam a grande dificuldade dos estudantes ao lidar com símbolos químicos. Entretanto, é importante considerar que as representações simbólicas são inerentes à Química, e é indiscutível a necessidade de conhecê-las a fim de elaborar e comunicar conhecimentos químicos.

Representações verbais incluem a exploração das metáforas e analogias a partir das quais um modelo é elaborado. Uma dificuldade freqüentemente apresentada pelos estudantes, e que pode estar vinculada à linguagem utilizada no ensino de Química, diz respeito à tendência em atribuir características antropomórficas às entidades químicas, como nos exemplos a seguir: “o átomo queria ou precisava ganhar ou perder elétrons” e “o átomo estava feliz” (Treagust & Chittleborough, 2001), e “átomos necessitam de camadas preenchidas” (Fernandez & Marcondes, 2006), “átomos possuem, doam, aceitam e compartilham elétrons” (Taber & Coll, 2003) – frases comumente utilizadas com a intenção de ajudar os estudantes a se identificar com o assunto. Taber e Coll (2003) destacam que, embora estejam cientes de que átomos não são entidades vivas, os estudantes podem usar analogias entre interações interatômicas e interações sociais humanas. Contudo, frases como as exemplificadas acima, que poderiam ser interpretadas metaforicamente pelos estudantes, o são de maneira literal, resultando em compreensões inadequadas.

Os professores, a despeito de seu papel supostamente facilitador no processo de ensino e aprendizagem, podem dificultar essa última, por exemplo, ao tentar simplificar demais os conceitos químicos. Muitas vezes, isso leva os estudantes a confundir esses conceitos, por exemplo, associando compostos somente com moléculas (Treagust & Chittleborough, 2001), e substâncias simples somente com

átomos. Os professores precisam ter muito cuidado com a maneira e precisão com que dão suporte a seus estudantes, no momento em que estes constroem seus modelos mentais, pois uma interpretação imprópria pode causar representações inapropriadas e levar a compreensões inadequadas (Briggs & Bodner, 2005).

A maneira como os estudantes resolvem problemas tem sido abordada em vários estudos na área de ensino de ciências (Gabel, 1999; Gabel et al., 1987; Haláková & Proksa, 2007; Michalchik et al., 2008; Nakhleh, 1993; Nakhleh, Lowrey, & Mitchell, 1996; Nakhleh & Mitchell, 1993; Rappoport & Ashkenazi, 2008; Sawrey, 1990; Treagust & Chittleborough, 2001; Tuckey & Selvaratnam, 1993). Esses estudos apontam para a tendência dos estudantes em resolver problemas pela mera aplicação de algoritmos, sem necessariamente compreender os conceitos químicos. Nakhleh (1993) constatou, em uma pesquisa realizada com estudantes norte-americanos novatos, de diferentes cursos universitários, que haviam acabado de cursar a disciplina Química Geral, que uma porcentagem considerável deles apresentava baixa capacidade conceitual e alta capacidade algorítmica. Esses alunos se mostraram competentes em resolver problemas utilizando equações algébricas, mas apresentaram compreensão limitada da Química por trás de suas manipulações algorítmicas. Isto demonstra que a habilidade de resolver problemas numéricos, típicos de muitas avaliações a que os alunos se submetem, não é, necessariamente, uma boa indicação da habilidade de resolver problemas conceituais.

Sawrey (1990) destaca que a habilidade de resolver problemas numéricos não garante que haja compreensão da base molecular do problema, o que nos remete a relacionar essa questão aos modos de representação. Uma possível explicação seria o fato de muitos estudantes não conseguirem conectar a representação simbólica (fórmulas, equações) de um sistema com sua representação no nível submicroscópico ou, ainda, o fato de as conexões que são feitas serem inapropriadas, não-científicas, levando a uma conclusão conceitual incorreta (Rappoport & Ashkenazi, 2008). Gabel (1999) atribui a resolução de problemas por meio de algoritmos à natureza complexa dos conceitos químicos e à maneira como eles são ensinados.

Alguns autores (por exemplo, Gabel et al., 1987) afirmam que, a fim de resolver corretamente um problema, os conceitos nele envolvidos precisam ser bem compreendidos e ser evocados pelos próprios estudantes. Após uma descrição preliminar do problema, em termos do que se solicita e do que é dado, ele precisa ser descrito novamente, de acordo com o referencial da pessoa que busca resolvê-lo. Acreditamos que esse referencial seja baseado nos conceitos criados pelos estudantes, a partir da instrução formal e de suas próprias experiências e crenças, podendo conter concepções alternativas ou errôneas. Nakhleh et al. (1996) afirmam que é difícil construir conexões entre conceitos e, por isso, o conhecimento dos estudantes é fragmentado, levando-os a optar por algoritmos memorizados para ajudá-los durante seus cursos. No entanto, não podemos pressupor que todos os estudantes apresentam essa característica na resolução de problemas. Por exemplo, Nakhleh (1993) afirma que muitos estudantes percebem o mundo de maneira diferente daqueles que são orientados pela matemática tradicional (como alguns estudantes de ciências e engenharia) e que esses estudantes desejam explorar o *porquê* e o *como* em relação aos fenômenos químicos, mais do que relacionar quantidades neles envolvidas. Assim, eles estariam mais interessados nos conceitos do que na resolução algorítmica dos problemas. A autora sugere que o ensino tem que se dar em uma estrutura mais baseada em conceitos químicos, integrando-os à compreensão algorítmica dos problemas propostos aos alunos, de forma a subsidiar a compreensão de tais estudantes.

Questões conceituais, geralmente, apresentam uma situação química à qual os estudantes não estão habituados. Essas questões solicitam que os estudantes justifiquem uma escolha, predigam o que deve acontecer, expliquem por que e como algo acontece, façam conexões entre duas ou mais áreas ou tópicos, reconheçam questões escritas de uma nova maneira e extraiam dados úteis de informações (Haláková & Proksa, 2007). O uso de questões conceituais, de acordo com esses autores, é uma ferramenta que pode ajudar os estudantes a obter experiências mais profundas de aprendizagem, aperfeiçoar sua compreensão e habilidade de aplicar o

que foi aprendido em novas situações, promover seu pensamento crítico e aumentar seu entusiasmo pela ciência e aprendizagem.

Um problema enfrentado por alunos e professores parece estar relacionado à própria estrutura da disciplina, nos cursos e nos textos didáticos. Gabel (1999) critica a estrutura, bastante comum, em que se apresentam conceitos de teoria atômica e ligações, primeiramente no nível submicroscópico, antes de apresentar a química descritiva no nível macroscópico. Segundo ela, essa estrutura é bem compreendida apenas por aqueles que já possuem bastante conhecimento em Química, como os autores dos livros didáticos. A autora questiona a necessidade de se ensinar estrutura atômica no início do curso de Química. Ela menciona como abordagem interessante, aquela em que a Química é ensinada a partir do nível macroscópico, no qual se considera o fenômeno em si e, posteriormente, fenômeno e suas representações (níveis submicroscópico e simbólico) são relacionados. Consideramos que isso poderia ajudar os estudantes a aprender conceitos químicos, e também a compreender que as representações *não são* o próprio fenômeno.

Acreditamos que atividades investigativas possam contribuir para a aprendizagem, por meio de estratégias de ensino que promovam a discussão de questões que vão além dos conceitos químicos. Treagust et al. (2000) destacam que tais questões devem levar em consideração: (i) o conhecimento prévio dos estudantes; (ii) os múltiplos modos de representação com os quais os fenômenos químicos podem ser representados; (iii) os significados de termos iguais ou similares empregados em Química e na vida cotidiana; (iv) a Química do dia-a-dia.

Gilbert (2004) afirma ser necessário que se promova um ensino de ciências que ajude os alunos a desenvolver um entendimento mais coerente, flexível, sistemático e, principalmente, crítico. Ele enfatiza que o ensino não deve ser fundamentado na transmissão de uma série de conhecimentos desvinculados e que o papel do aluno na escola não deve ser somente o de acumulador de conhecimentos. Também Maia e Justi (2009) destacam essa nova perspectiva para o ensino de ciências, afirmando que,

para atingi-la, é necessário tentar que os estudantes se envolvam na construção de seu conhecimento. Segundo Rapp (2005), o engajamento (que envolve aumento de motivação e um nível mais profundo de atividade cognitiva), deve resultar na construção de modelos mentais na memória. Treagust et al. (2000) destacam que, segundo a perspectiva construtivista, a aprendizagem é considerada como um processo de construção ativa do estudante e o ensino é planejado para dar suporte e estimular esse processo de construção. Mammino (2008) considera que os estudantes precisam estar envolvidos em todos os aspectos de sua educação, de modo que eles também saibam (e avaliem) as motivações das intervenções e seleção de opções feitas pelo professor. A autora afirma que uma das tarefas mais difíceis em uma atividade de ensino é atrair e manter a atenção dos estudantes, e que garantir sua participação ativa deve levar a uma eficiência pedagógica máxima.

O presente trabalho apresenta uma proposta de ensino desenvolvida a partir de atividades investigativas que acreditamos ter grande potencial para ajudar os estudantes a vencer algumas das dificuldades citadas. Tal proposta de ensino norteou a pesquisa.

HABILIDADES INERENTES À APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS

A compreensão dos significados de habilidade e competência, no contexto educacional, é dificultada pela falta de uma definição para esses termos. Percebe-se uma tendência em utilizá-los indiscriminadamente, sem se preocupar (ou se arriscar) em expô-los com precisão. Em situações práticas, é fácil confundir competência com habilidade. Segundo Macedo (2005), a competência é uma habilidade de ordem geral, enquanto a habilidade é uma competência de ordem particular, específica. O autor destaca que:

“A diferença entre competência e habilidade, em uma primeira aproximação, depende do recorte. Resolver problemas, por exemplo, é uma competência que supõe o domínio de várias habilidades. Calcular, ler, interpretar, tomar decisões, responder por escrito etc. são exemplos de habilidades requeridas para a solução de problemas de aritmética.

Mas, se saímos do contexto de problema e se consideramos a complexidade envolvida no desenvolvimento de cada uma dessas habilidades, podemos valorizá-las como competências que, por sua vez, requerem outras tantas habilidades.” (Macedo, 2005, p. 19)

Neste trabalho, adotamos o que esse autor propõe. No entanto, empregamos o termo *capacidade*, no lugar de *competência*, e mantivemos o sentido de abrangência proposto pelo autor. Em outras palavras, consideramos *capacidade* como sendo um conjunto de habilidades, sem a intenção de tratar habilidade como uma capacidade menor, mas sim como uma capacidade específica.

A fim de vivenciar plenamente atividades investigativas, as quais acreditamos ter o potencial para ajudar na aprendizagem de ciências pelos estudantes, é necessário que estes apresentem ou desenvolvam algumas habilidades. Não pretendemos, aqui, apresentar uma revisão da literatura sobre habilidades cognitivas. Porém, faz-se necessário estabelecer considerações sobre algumas dessas habilidades, uma vez que os sujeitos desta pesquisa foram submetidos a atividades em que desempenharam tarefas investigativas e que este trabalho analisa o desenvolvimento de algumas dessas habilidades.

De acordo com a taxonomia dos objetivos educacionais de Bloom (1984), as possibilidades de aprendizagem são divididas em três grandes domínios: cognitivo, afetivo e psicomotor. Cada um desses domínios é dividido em processos, sendo cada processo mais complexo e mais específico do que o anterior. Os processos são cumulativos, isto é, uma categoria depende da anterior que, por sua vez, dá suporte à seguinte. No domínio cognitivo, os processos são seis: conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação. As habilidades relacionadas a cada um desses processos apresentam níveis de sofisticação crescente, denotando o caráter hierárquico da proposta de Bloom. Em outras palavras, cada processo utiliza a competência adquirida nos anteriores. Segundo o autor, (i) *conhecimento* envolve as habilidades de observar e recordar informações, domínio do assunto e identificação de suas idéias principais; (ii) *compreensão* envolve as habilidades de dar sentido a

informações, transferir conhecimento para novos contextos, interpretar, comparar e contrastar fatos, ordenar, agrupar, inferir causas, prever conseqüências; (iii) *aplicação* se refere à utilização de informações, conceitos e teorias em novas situações, e resolução de problemas; (iv) *análise* se relaciona às habilidades de identificar padrões e reconhecer significados implícitos; (v) *síntese* envolve a capacidade de utilizar idéias antigas para criar novas, generalizar a partir de fatos, relacionar conhecimentos de áreas diversas, fazer previsões e conclusões; e (vi) *avaliação* se refere às habilidades de comparar e discriminar idéias, avaliar teorias, fazer escolhas baseadas em argumentos, avaliar evidências, reconhecer subjetividades. Os seis processos do domínio cognitivo são freqüentemente dicotomizados em processos mentais de baixa ordem (conhecimento, compreensão e aplicação) e de alta ordem (análise, síntese e avaliação).

Apesar de termos conhecimento da existência de críticas à taxonomia de Bloom, consideramos que ela pode ser útil, no sentido de que acreditamos que um processo depende do outro. Em outras palavras, consideramos que cognição de alta ordem pressupõe cognição de baixa ordem. Segundo Domin (1999), conhecimento (processo de mais baixa ordem), por exemplo, é pressuposto em todos os outros processos. Por outro lado, avaliação (processo de mais alta ordem) não é, necessariamente, um componente de um processo menos sofisticado. Por exemplo, um estudante pode elaborar um modelo para uma solução aquosa de cloreto de sódio, e não avaliá-lo quanto a sua capacidade de explicar a condutibilidade elétrica dessa solução.

Domin (1999) relata uma pesquisa em que foram identificados, em manuais de aulas práticas, verbos que denotam as habilidades cognitivas envolvidas em atividades investigativas. O estudo se baseou na taxonomia de Bloom e classificou essas habilidades, conforme exigiam processos mentais de baixa ou de alta ordem. Segundo o autor, uma maneira de promover o raciocínio de alta ordem em aulas práticas em laboratório seria colocar os estudantes em situações nas quais eles fossem os responsáveis por planejar, desenvolver e conduzir seus próprios experimentos. No

entanto, Domin (1999) também considera possível que manuais de laboratório favoreçam processos cognitivos mais sofisticados, se, por exemplo, solicitarem que os estudantes sejam confrontados com novas situações, a fim de resolver novos problemas.

As habilidades argumentativas também são desejáveis em estudantes de ciências. Para Erduran, Simon e Osborne (2004), a argumentação é central para a ciência e para o discurso dos cientistas. Estes utilizam a argumentação para discutir o planejamento de experimentos, a interpretação de evidências e a validade de asserções sobre os conhecimentos científicos. Os autores defendem que aulas que solicitam argumentação por parte dos estudantes requerem que estes externalizem seu raciocínio, em um processo que desenvolve a reflexão, apropriação e desenvolvimento de conhecimentos. Além disso, a troca de idéias entre os alunos e a elaboração de explicações coletivas favorecem o desenvolvimento de uma visão da ciência como uma construção de uma comunidade, cujas teorias estão em constante processo de avaliação (Capecchi & Carvalho, 2000).

A habilidade de escrita também é contemplada pela literatura. Por exemplo, Queiroz (2001) relata dificuldades de estudantes de graduação em Química em expressar conhecimentos por escrito, mais do que oralmente. A autora atribui esse fato, em parte, à ênfase dada pelos cursos de Química à resolução de problemas por meio de cálculos, o que enfoca aspectos quantitativos dessa ciência. Isso prejudicaria o desenvolvimento de uma habilidade qualitativa, também importante, que é a da escrita. Estamos de acordo com Queiroz (2001), e consideramos essencial que os estudantes sejam estimulados a comunicar suas idéias por escrito, a fim de poder aprimorar essa necessária habilidade.

A aprendizagem da Química requer, além das citadas, outras habilidades específicas, relacionadas a representações e visualização, que serão particularmente discutidas neste trabalho, por constituírem o eixo central da pesquisa que nos

propusemos a desenvolver. Tais habilidades serão discutidas mais detalhadamente, ainda neste capítulo.

Esta pesquisa abrange atividades em que os estudantes precisaram considerar dados experimentais a fim de elaborar modelos explicativos. Acreditamos que tais atividades demandaram raciocínio de alta ordem, pois envolviam análise, síntese e avaliação, o que pressupõe que solicitaram também raciocínio de baixa ordem (conhecimento, compreensão e aplicação).

Consideramos que também as habilidades argumentativas tenham sido requeridas nas atividades em que se baseia este trabalho, uma vez que os estudantes comunicaram seus modelos aos colegas da turma, a fim de convencê-los da validade desses modelos, assim como de seu poder explanatório e de sustentar previsões. Nesse sentido, os alunos submeteram suas idéias a seus pares, de maneira que estas puderam ser por eles aprovadas, criticadas ou mesmo rejeitadas.

MODELOS EM CIÊNCIAS E NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Modelos são representações simplificadas de um fenômeno, objeto ou idéia, produzidas com um propósito específico. O propósito mais comum é o de fornecer uma explicação para a entidade modelada, a partir da qual possam ser elaboradas previsões bem sucedidas de como ela se comportaria sob várias circunstâncias (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). Isto quer dizer que modelos não são somente explanatórios, mas também exploratórios, isto é, através deles são feitas previsões sobre novas observações e experimentos. Assim, podemos afirmar que modelos indicam o caminho para novos instrumentos e práticas científicas, além de poder ser usados como esquemas didáticos e veículos de comunicação (Mathewson, 2005).

Como enfatizado acima, Gilbert et al. (2000) utilizam o termo modelo em um sentido amplo, que inclui representações de idéias, objetos, eventos, processos ou sistemas. Neste trabalho, também consideramos o termo nesse sentido mais amplo.

Os cientistas elaboram modelos com a finalidade de facilitar a comunicação, auxiliar na visualização de entidades abstratas, fundamentar a proposição e a interpretação de experimentos, explicações e previsões. Modelos são fundamentais na comunicação entre os cientistas e seus pares. Eles podem ser considerados, ainda, agentes que simplificam uma teoria ou uma série de dados, empíricos ou não, facilitando a comunicação da comunidade científica com a sociedade (Justi, 2006).

Se os modelos desempenham papéis tão importantes na ciência, conseqüentemente devem fazê-lo em ensino de ciências. Nessa perspectiva, estudantes precisam entender a natureza e o significado dos modelos, assim como desenvolver a capacidade de produzir, testar e avaliar modelos (Gilbert, 2005). Isto caracterizaria o que este autor chamou de ensino de ciências mais autêntico.

Alguns argumentos que justificam o papel central dos modelos no ensino de ciências foram discutidos em um trabalho (Justi & Gilbert, 2002a) em que se destaca que os alunos devem: saber sobre a natureza, abrangência e limitações dos principais modelos científicos (a fim de *aprender ciência*); entender adequadamente a natureza dos modelos e ser capazes de avaliar o papel dos mesmos no desenvolvimento e disseminação dos resultados da pesquisa científica (a fim de *aprender sobre ciência*); ser capazes de criar, expressar e testar seus próprios modelos (a fim de *aprender a fazer ciência*).

Gilbert et al. (2000) fazem, ainda, a distinção entre *modelos mentais* e *modelos expressos*. Segundo o autor, um *modelo mental* é uma representação particular e pessoal formada por um indivíduo, sozinho ou em grupo, que é inacessível a outros. Quando uma versão do modelo mental é comunicada, ou seja, colocada em domínio público, esta é chamada de *modelo expresso*. Tal modelo também pode vir a ser chamado de *modelo consensual*, desde que um grupo social (por exemplo, uma turma de alunos) concorde com ele.

É importante também distinguir os *modelos científicos*, *modelos curriculares* e *modelos de ensino*. Segundo Gilbert et al. (2000), os *modelos científicos* são

freqüentemente complexos e/ou expressos em formas de representação complexas (como, por exemplo, formulações matemáticas). Por isso, o que é ensinado nas aulas de ciências são simplificações desses modelos, os chamados *modelos curriculares*. Os *modelos de ensino* são representações criadas com o objetivo de ajudar os alunos a aprender algum aspecto de um modelo curricular. Os modelos de ensino mais comuns são desenhos, modelos concretos, simulações e analogias.

A despeito do importante papel que os modelos deveriam desempenhar no ensino de ciências, diversos relatos da literatura em educação em ciências apontam para o uso limitado dos mesmos por parte dos alunos. Pesquisadores (por exemplo, Coll & Treagust, 2001) discutem que a falta de clareza no uso dos modelos tem origem na abordagem utilizada no ensino desse tema. Na instrução formal promovida por professores com auxílio dos livros didáticos são apresentados aos estudantes, de forma declarativa, modelos prontos baseados em proposições do conhecimento científico das quais eles desconhecem as origens e os fundamentos. É possível que surjam, daí, múltiplas concepções alternativas como produtos de suas incompreensões (Carvalho et al., 2006).

O fato de modelos serem abordados inadequadamente deve-se, também, à visão de que eles são a realidade, ou uma cópia da mesma. De acordo com Treagust e Chittleborough,

“o processo extensivo e aceito de uso de modelos faz com que o modelo pareça um “fato” a muitos professores e estudantes. Frequentemente, estudantes não diferenciam modelos entre si e não os consideram diferentes da característica observada que o modelo está tentando explicar. De fato, professores e livros didáticos muitas vezes representam átomos e moléculas como reais ou factuais, esquecendo as origens de sua evolução a partir de modelos teóricos da matéria. As qualidades e limitações de cada modelo precisam ser discutidas a fim de que os estudantes avaliem sua exatidão e mérito.” (Treagust & Chittleborough, 2001, p. 246)

Uma recomendação para o ensino é a de que é essencial que o professor favoreça a compreensão dos estudantes de que símbolos, fórmulas ou outros modelos

são *representações* de diferentes propriedades de uma entidade química e não uma cópia de algo (Treagust et al., 2000). Segundo Halpine (2004), a compreensão do conceito de modelos não deveria ser difícil, pois as crianças muitas vezes brincam com bonecas e miniaturas de carros no lugar de objetos *reais*. Alguns autores discordam da idéia de que isso torne mais fácil compreender o significado de modelo. Por exemplo, Justi (2006) afirma que esse significado popular de modelo, que o considera uma representação *concreta* de alguma coisa, é reforçado porque as pessoas aprendem desde a infância que os modelos reproduzem os principais aspectos visuais ou estruturais daquilo que está sendo modelado, ou seja, são *cópias da realidade*. Isso é justificado pela autora com alguns exemplos: crianças brincam com miniaturas; pessoas olham manequins em lojas ou modelos em museus, o que pode reforçar a associação de modelos com cópias.

Cada tipo de modelo pode contribuir de uma maneira única à construção, pelos estudantes, da compreensão do fenômeno químico sob investigação (Treagust & Chittleborough, 2001). Acreditamos que, para que isso seja um fato, é preciso que os estudantes compreendam a natureza dos modelos. Um aspecto importante sobre os modelos é sua natureza dual, conforme destacado por Uttal e O'Doherty (2008): um modelo (seja ele um gráfico, um quadro, ou um modelo tridimensional) é uma representação de algo, mas também é um objeto por si mesmo. Quando o professor apresenta aos estudantes uma representação, ele precisa estar atento para manter o foco no que se pretende representar e não nas propriedades do objeto em si. Representações não possuem significados por elas mesmas e é importante que isso fique claro aos estudantes. Os significados são caracterizados pelas relações entre as representações e os objetos e eventos aos quais elas se referem, mas que não estão presentes nelas (Michalchik et al., 2008). Em outras palavras, os significados das representações são elaborados pelos indivíduos. Nesse sentido, uma imagem mental é um modelo mental: não é um retrato na mente, mas sim um esquema para descrever e processar informações visuais, espaciais, temporais, causais ou de outros tipos (Ramadas, 2009).

É também essencial que os estudantes compreendam que modelos apresentam limitações e que um único modelo provavelmente não é capaz de fornecer explicações para todos os aspectos da situação, fenômeno ou sistema que se deseja modelar. A abrangência de um modelo é aquilo que ele é capaz de explicar a respeito da entidade modelada. Suas limitações se referem, ao contrário, àquilo que o modelo não consegue explicar. Além disso, é possível a coexistência de múltiplos modelos para uma mesma situação (Justi, 2006).

Ao escolher um modo de representação a fim de que um *modelo mental* se torne um *modelo expresso*, os estudantes precisam conhecer bem as convenções inerentes a tal modo de representação, de maneira a selecionar a que seja mais adequada aos aspectos que o modelo pretende contemplar, isto é, sua abrangência. Por exemplo, um desenho (modelo bidimensional) da estrutura cristalina da substância fulereno, C_{60} , proposta por Buckminster Fuller (1895-1983), que tem a forma de um domo geodésico, pode, ou não, representar explicitamente os átomos de carbono e as ligações entre eles. Os estudantes precisam compreender quais são as limitações de cada representação (Michalchik et al., 2008). Acreditamos que essa compreensão pode ser promovida por meio de atividades que envolvam representações e discussões sobre as mesmas, pois, dessa maneira, os estudantes têm a oportunidade de aprender sobre o papel das representações e de usá-las para propor questões, argumentar sobre respostas e fundamentar afirmações.

Representações visuais são especialmente importantes na elaboração e comunicação de conceitos da ciência. Embora o processo criativo não se relacione exclusivamente com representações visuais, é possível que estas facilitem certas operações em modelos mentais (Ramadas, 2009), o que justifica sua relevância na construção da ciência. Por exemplo, tais representações são maneiras de tornar visíveis fenômenos que são muito pequenos, grandes, rápidos ou lentos, para serem vistos a olho nu, de ilustrar fenômenos abstratos, que não podem ser observados ou experimentados diretamente (Cook, 2006).

No entanto, representações visuais podem não fornecer a contribuição à aprendizagem, se não forem bem compreendidas. Como mencionado anteriormente, os livros didáticos trazem uma variedade de representações simbólicas e bidimensionais⁶, mas, para a maioria dos estudantes, é difícil coordenar essas representações na compreensão de conceitos e fenômenos. Nenhuma dessas representações é universalmente aplicável e a representação escolhida para uma determinada situação é dependente da situação. Cada representação tem suas vantagens particulares, mas todas podem se referir a uma mesma entidade. Porém, os livros didáticos não incluem descrições de como uma representação pode ser transferida para outra (Treagust, Duit e Nieswandt, 2000). Tipicamente, os alunos não fazem uso de múltiplas representações; utilizam apenas uma, que lhes seja mais familiar ou simplificada. Quando ocorre transição entre diferentes níveis ou formas de representação, na maioria das vezes, os estudantes têm dificuldade para compreender as representações utilizadas (Cook, 2006) e a correspondência entre elas.

A EXPRESSÃO DO MODELO: NÍVEIS REPRESENTACIONAIS

Segundo Johnstone (1993), na expressão de um modelo, três níveis podem ser representados (figura 2.1): (i) o nível macroscópico (que consiste no que pode ser visto); (ii) o nível submicroscópico (as entidades que constituem o que é observado no nível macroscópico e que justificam suas propriedades) e (iii) o nível simbólico (abstrações qualitativas utilizadas para representar o nível submicroscópico). Johnstone (1982) sugere que esses três níveis representacionais são os componentes básicos da Química que é ensinada hoje. Para este autor, o nível macroscópico é descritivo e funcional, pois descreve as propriedades dos materiais em termos de densidade, inflamabilidade, cor etc.; o simbólico é representacional, pois representa as

⁶ Devido à limitação do próprio recurso, os livros apresentam representações bidimensionais de modelos tridimensionais. Isto, contudo, é diferente da própria representação tridimensional, pela impossibilidade de manipulá-la e visualizá-la sob diversos ângulos.

substâncias químicas por meio de fórmulas e suas transformações por meio de equações; e o submicroscópico é explanatório, uma vez que explica por que substâncias químicas apresentam determinados comportamentos a fim de nos proporcionar uma imagem mental que direcione o pensamento para e racionalize o nível descritivo (figura 2.2).

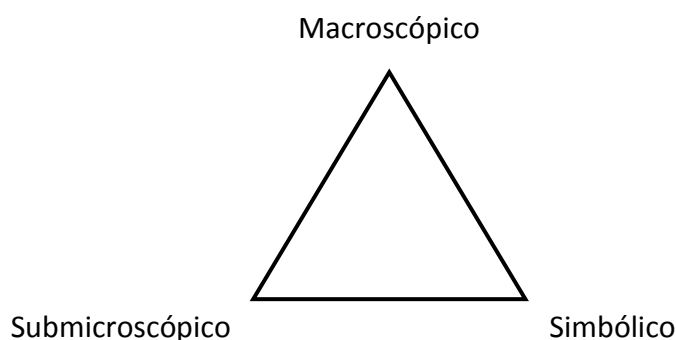


Figura 2.1. Os três níveis de representação da Química: macroscópico, submicroscópico e simbólico (Johnstone, 1993, p. 703).

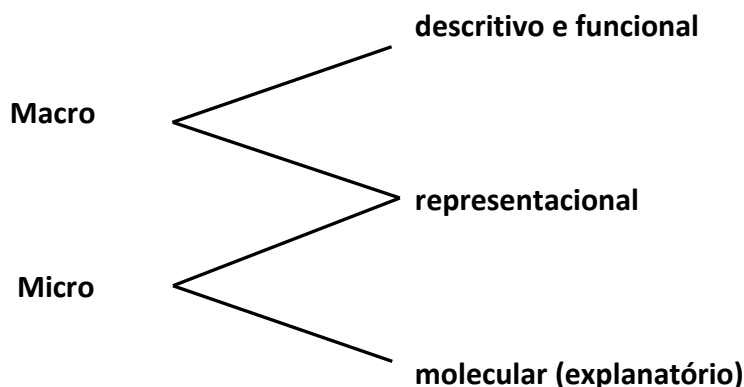


Figura 2.2. Caracterização dos níveis representacionais macroscópico e microscópico⁷ (Johnstone, 1982, p. 378).

Embora reconheça os níveis representacionais (e sua importância), não só em Química, mas também em Biologia e Física, Johnstone (1982, 1993) não acredita que seja necessário que os estudantes trabalhem *sempre* em todos esses níveis.

⁷ A substituição do termo *microscópico* por *submicroscópico* foi feita posteriormente à publicação deste artigo, no qual essas idéias foram originalmente apresentadas.

Profissionais da Química trabalham bem dentro do triângulo, mesclando os modos representacionais, movendo-se facilmente de um vértice ao outro, conforme seu pensamento requer. O autor considera arrogante de nossa parte supor ou insistir que todos os estudantes de Química precisam operar da mesma maneira. Ele acredita que uma química útil e proveitosa (o que ele chama de uma química “para todos”) pode ser ensinada e aprendida no, ou bem próximo ao nível macroscópico, que deveria ser o foco da educação de todos os cidadãos. Essa educação pode ser (ou não) acompanhada pelo nível simbólico, enquanto o nível submicroscópico pode, provavelmente, ser desnecessário para a educação do cidadão. O autor chama essa proposta de “uma macro-química para todos e uma micro-química para alguns” (Johnstone, 1982, p. 379). A macro-química pode, segundo ele, proporcionar muitas oportunidades para levantar questões científicas, planejar experimentos para testá-las e fazer interpretações úteis e válidas. Este nível seria suficiente para se atingir o letramento científico, fornecendo um *background* para a ciência doméstica, química de jardim, adesivos, plásticos, combustíveis, poluição etc. A abordagem proposta por Gabel (1999), citada anteriormente, é coerente com o que Johnstone propõe para a educação do cidadão comum, pois tem em vista que os níveis simbólico e submicroscópico devam ser estudados apenas pelos que optarem por estudos mais profundos de Química.

Em contrapartida, Gilbert (2008) afirma que ser capaz de trabalhar com esses três níveis e mentalmente transferir de um para outro é uma habilidade vital para se compreender plenamente as explicações que a ciência fornece para fenômenos naturais. Rappoport e Ashkenazi (2008) concordam que essa habilidade é essencial para o pensamento científico. Justi, Gilbert e Ferreira (2009) afirmam que conhecer os três níveis representacionais dá acesso às propriedades do todo, e possibilita explicação qualitativa e quantitativa dessas propriedades. Assim, mover-se entre esses níveis permite que se eles sejam relacionados uns com os outros. Concordamos com as idéias desses autores, sobre o papel fundamental dos três níveis representacionais na compreensão da ciência, em especial da Química.

O trabalho de Rappoport e Ashkenazi (2008) aponta para um problema com o uso do termo *níveis* de representação, que implica na existência de uma hierarquia ou ordem entre esses níveis. Os autores afirmam que o uso dos nomes *nível macroscópico* e *nível submicroscópico* pode sugerir que estes são *níveis de observação* e que o critério de ordenação entre eles é de ampliação, o que pode levar ao pensamento errôneo de que a única diferença entre as partículas submicroscópicas e a substância macro é o tamanho, enquanto todas as outras propriedades permanecem as mesmas. Wilensky e Resnick (1999) destacam que é muito comum as pessoas relacionarem níveis com hierarquia. Segundo os autores, isso ocorre porque convivemos com muitos exemplos em que o termo nível tem sentido hierárquico: no exército (o general está no nível mais alto, o soldado raso no mais baixo), em empresas (o chefe executivo está no nível mais alto, seguido do presidente e do vice-presidente) etc. Rappoport e Ashkenazi (2008) fazem uma análise do triângulo proposto por Johnstone (figura 2.1), chamando atenção para o fato de que os níveis submicroscópico e simbólico se encontram na base, enquanto o macroscópico está colocado no ápice. Em vista de que esse autor considera o nível macroscópico como sendo concreto e os níveis submicroscópico e simbólico, como tendo natureza abstrata, Rappoport e Ashkenazi (2008) afirmam que isto sugere uma classificação em *níveis de abstração* e, como critério de ordenação, a experiência sensorial (ver figura 2.3).

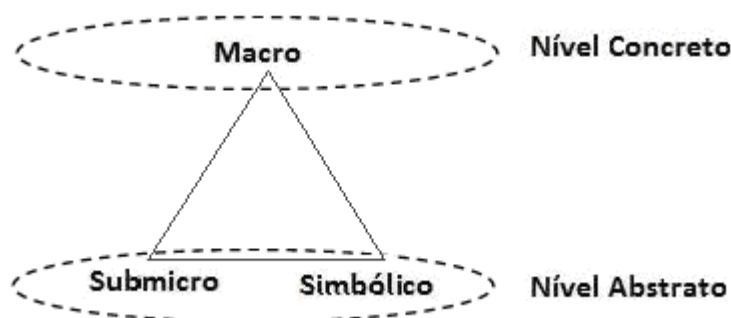


Figura 2.3. Os níveis representacionais de Johnstone, classificados em níveis de abstração (Rappoport & Ashkenazi, 2008, p. 1587).

Outra classificação, sugerida por esses autores como sendo mais adequada, é a de *níveis de complexidade*, obtida ao se utilizar como critério de ordenação a emergência. A *perspectiva emergente* (Wilensky & Resnick, 1999) considera que os níveis surgem da interação de objetos em níveis mais baixos. No caso da Química, considera-se que o nível macroscópico emerge a partir das interações que ocorrem no nível submicroscópico. Por exemplo, as propriedades apresentadas por uma substância iônica (condutibilidade elétrica em solução ou no estado líquido, dureza, clivagem etc.) emergem de (ou são causadas por) interações entre os íons que constituem o cristal iônico.

A fim de evidenciar o critério da emergência, os autores propõem a inversão do triângulo. Eles consideram o nível simbólico, na maioria das vezes, mais relacionado com propriedades observáveis (por ser visível), apesar de reconhecerem que este nível pode ser utilizado para representar tanto o nível macroscópico, quanto o submicroscópico. Eles sugerem, portanto, que o nível simbólico não seja classificado como um nível de complexidade, o que justifica sua posição junto ao nível macroscópico, no triângulo (figura 2.4), constituindo o *nível do sistema*. Por sua vez, o nível submicroscópico corresponde ao *nível dos componentes*.

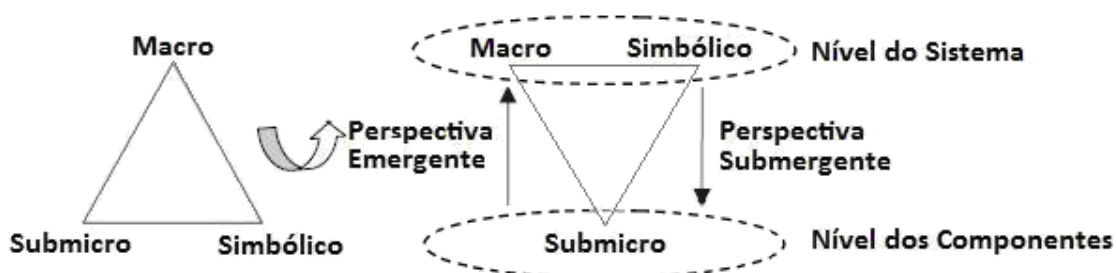


Figura 2.4. Mudança da ideia de *níveis de abstração* para a de *níveis de complexidade* (Rappoport & Ashkenazi, 2008, p. 1588).

REPRESENTAÇÕES E APRENDIZAGEM DE QUÍMICA

Como discutido anteriormente, devido a seu caráter essencialmente abstrato, em geral, a Química apresenta muitas barreiras aos estudantes. Isto porque a

compreensão de fenômenos químicos está essencialmente relacionada à compreensão das representações desses fenômenos. Uma importante dificuldade se refere à habilidade visual requerida para essa compreensão. Talvez mais do que em outras ciências, “entender Química é dar sentido ao invisível e ao intocável” (Kozma & Russell, 1997, p. 949). As explicações para os fenômenos observados quase sempre estão no nível submicroscópico – que não pode ser observado, mas é descrito e explicado com a utilização de símbolos, por meio dos quais modelos mentais pessoais são construídos (Treagust & Chittleborough, 2001). Assim, os conteúdos e procedimentos envolvidos no ensino e aprendizagem dessa disciplina demandam a construção de representações que possam facilitar a *visualização* de entidades abstratas e, a partir disso, a compreensão da natureza, propriedades e comportamento das mesmas.

Não se pode compreender Química sem utilizar representações e nem utilizar representações nesse âmbito sem alguma compreensão em Química. Os grupos de habilidades envolvidas em cada um desses processos se desenvolvem mutuamente e fazem parte um do outro (Michalchik et al., 2008). Portanto, a competência na utilização de representações (que enfoca o ato de empregá-las) complementa a compreensão do conceito químico (que enfoca o significado construído a partir da utilização de tais representações). Para os autores, o processo de desenvolvimento da citada competência é gradual.

NÍVEIS E MODOS REPRESENTACIONAIS NO ENSINO E NA APRENDIZAGEM DE QUÍMICA

Acreditamos que, ao adotar níveis de complexidade e o critério da emergência, os professores possam ajudar os estudantes a perceber que é necessário compreender as interações entre as partículas, a fim de *explicar* as propriedades do sistema. Isto poderia evitar a visão substancialista, discutida anteriormente. Consideramos, ainda, que seja coerente que o ponto de partida seja o nível macroscópico, apenas no sentido de que os estudantes percebam que fenômenos ou propriedades se espera que eles expliquem. No entanto, é fundamental que eles compreendam que não podem atribuir propriedades de substâncias às partículas que as constituem, o que

corresponderia a uma perspectiva submergente, segundo Rappoport e Ashkenazi (2008).

Chittleborough (2004) chama a atenção para a divergência encontrada entre alguns químicos, que afirmam que o nível submicroscópico é real, e alguns educadores, que o consideram apenas uma representação de um modelo teórico. Em vista da existência de potentes microscópicos eletrônicos, a autora considera incontestável o fato de que esse nível é real, pois, segundo ela, hoje é possível observar átomos e moléculas, o que justificaria que estes fossem classificados preferivelmente como reais e não como um modelo. No entanto, como não é possível observar as interações entre essas partículas, ela admite a necessidade de modelos teóricos para explicar tais interações. Em outras palavras, a autora descreve o nível macroscópico como sendo real e visível e descreve o nível submicroscópico como sendo baseado em observações reais, necessitando, contudo, de teorias e representações para explicar o que ocorre no nível molecular. O nível simbólico, por sua vez, é descrito como sendo representacional, o que é coerente com o que afirma Johnstone (1982). Concordamos que o nível submicroscópico é tão real quanto o macroscópico, no sentido de que há evidências irrefutáveis de ele *existe*, embora não seja diretamente observável.

Johnstone (1993) apresenta também a *teoria do processamento de informações*, segundo a qual existe uma *memória de trabalho*, que é a parte da mente em que novas informações interagem, entre si e com outras já armazenadas na *memória de longa duração*⁸. Segundo essa teoria, a memória de trabalho, que é onde ocorrem interpretação e transformação das informações, possui uma capacidade limitada, o que pode comprometer a eficiência do processo de aprendizagem. Em vista disso, não se pode esperar que os estudantes adquiram rapidamente a capacidade de lidar com os três níveis representacionais, pois isto acarretaria a sobrecarga da

⁸ Entendemos que os conhecimentos prévios, cuja importância foi discutida anteriormente, são armazenados na *memória de longa duração*, proposta por Johnstone (1993).

memória de trabalho. Ao sugerir que o ensino comece pelo nível macroscópico e, a partir deste (se necessário), se trabalhem os níveis submicroscópico e simbólico, Johnstone (1982, 1993) está propondo que se utilize o limitado espaço da memória de trabalho de maneira mais eficiente, permitindo que os estudantes relacionem as novas idéias com o que eles já sabem. Isso poderia contribuir para que eles relacionassem as informações com o cotidiano, não se rendendo à memorização passiva, e para que acreditassem que são capazes de aprender Química. Ramadas (2009) destaca que a imaginação⁹ tem um papel fundamental na memória, de trabalho e de longa duração, na qual aspectos lingüísticos e imagísticos estão intimamente ligados.

Uma complicação a mais para o ensino de ciências é que os modelos podem existir por meio da utilização de um ou mais dos cinco modos de representação (Gilbert, 2005): o modo *concreto* (tridimensional e feito de materiais resistentes, por exemplo, plástico); o modo *verbal* (que descreve as entidades, suas relações em uma representação e explora as metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, podendo ser oral ou escrito); o modo *simbólico* (símbolos, fórmulas e equações químicas e expressões matemáticas); o modo *visual* (bidimensional: gráficos, diagramas, animações e simulações em computador) e o modo *gestual* (movimentos do corpo ou partes dele). Segundo Justi, Gilbert e Ferreira (2009), não há uma correspondência restrita entre os níveis da entidade que é modelada e o modo de representação usado para modelá-la. Aspectos dos níveis macroscópico e submicroscópico podem ser expressos em todos os modos de representação, enquanto aspectos do nível simbólico são geralmente expressos nos modos verbal ou simbólico. Gilbert (2005) destaca que, no caso da Química, e talvez no da maioria das ciências, os modos concreto, visual e simbólico predominam, e que há diversos submodos dentro de cada modo de representação.

⁹ Entendemos que o termo *imaginação* tem, aqui, o sentido atribuído por Clement, que o relaciona com “a invenção ou recriação mental de uma experiência que, ao menos sob alguns pontos de vista, assemelha-se a aspectos de uma experiência perceptiva ou motora real” (Clement, 2008a, p.176). Assim, nesta pesquisa, o termo não se relaciona a *fantasias* ou *crenças*, mas a uma operação mental.

Os cinco modos de representação, bem como os principais submodos que eles compreendem, são descritos e exemplificados, no Quadro 2.1.

MODO	SUBMODO	EXEMPLOS
Concreto (tridimensional)	Representações feitas de material manipulável	Modelo do tipo bola-e-vareta
Visual (bidimensional)	Gráficos	Gráfico de energia potencial x distância internuclear (poço potencial) para a formação da molécula de hidrogênio
	Desenhos	Representação, através de bolinhas, das partículas presentes em uma solução aquosa de sal de cozinha
	Tabelas	Tabela contendo dados de afinidade eletrônica e energia de ionização para alguns elementos da tabela periódica
	Animações	Simulação, produzida por computador, das partículas e de sua movimentação e interações durante a dissolução de sal de cozinha em água
	Modelos virtuais	Desenho pseudo-tridimensional produzido por computador, mostrando as três dimensões da estrutura do fulereno
Simbólico	Símbolos químicos	Símbolo químico do elemento magnésio
	Fórmulas químicas	Fórmula química do cloreto de sódio
	Equações químicas	Equação química representando a combustão de magnésio metálico
	Expressões matemáticas	Expressão matemática da <i>Lei de Coulomb</i>
Verbal (oral ou escrito)	Descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação	Descrição da natureza das bolas e das varetas em um modelo bola-e-vareta
	Exploração das metáforas e analogias nas quais um modelo se baseia	“Ligação covalente envolve o <i>compartilhamento</i> de elétrons”
Gestual	Utilização de movimentos do corpo ou partes dele.	Movimentos com as mãos para descrever ruptura ou formação de ligação química entre íons

Quadro 2.1. Modos e submodos de representação.

Raciocínio baseado em modelos confirma-se como uma combinação dos modos verbal e visual, assim como simbólico e matemático (Ramadas, 2009). A autora chama de *raciocínio transformacional* a operação em que se utilizam modelos mentais, com manipulação e transformação mental de imagens, e afirma que isso pode ajudar a integrar o modo visuo-espacial com o modo verbal e outros modos de raciocínio.

Infelizmente, muitos estudantes apresentam dificuldades em conectar os diferentes modos de representação (Gabel, 1999; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2003) que constituem os três níveis representacionais. Os professores freqüentemente acreditam que os alunos podem facilmente fazer transferências de um nível representacional para outro (Johnstone, 1982) e que compreendem o papel de cada um dos níveis, assim como as relações entre eles. Mas, a despeito dos esforços dos professores, o papel das representações submicroscópicas e simbólicas pode ou não ser entendido pelos estudantes. Ao ensinar, os professores movem-se constantemente entre múltiplos modos representacionais, a cada momento utilizando um (ou uma combinação deles) que seja apropriado à situação. No entanto, os estudantes têm dificuldades, tanto em entender o papel da representação assumida pelo professor quanto em transitar de maneira adequada entre diferentes representações (Rappoport & Ashkenazi, 2008). Os estudantes tendem a perceber uma representação diferente como algo novo a aprender, mais do que outra maneira de explicar o que se tem a aprender (Chittleborough, 2004).

Considerando as dificuldades relacionadas às representações em Química, Gabel (1999) não considera a existência dos três níveis representacionais como sendo a barreira primária, mas sim o fato de que a instrução química ocorre predominantemente no nível simbólico (o nível mais abstrato, segundo a autora), como pode ser constatado em quase todos os livros didáticos de Química. Estudantes são capazes de utilizar fórmulas (nível simbólico) em equações e até mesmo balancear equações corretamente, sem necessariamente entender o significado das fórmulas em termos das partículas que os símbolos representam (Gabel et al., 1987). Gabel (1999) chama a atenção para a importância de que os professores compreendam a relação

entre os níveis, a fim de que esta seja propagada aos estudantes. A autora relata também que, em sua própria experiência fazendo apresentações sobre a integração dos três níveis a professores secundários, ela percebeu que muitos deles nunca haviam pensado nisso.

Como professores e livros utilizam, freqüentemente, o nível macroscópico e também os níveis submicroscópico e simbólico, em múltiplas representações (que muitas vezes não fazem sentido para os alunos), estes podem ficar confusos. Desenhos de estruturas moleculares e fórmulas químicas são carregados de teoria e baseados em significados, e são criados para refletir a unificação ou a construção de teorias e experimentos (Wu et al., 2001). Uma fórmula química é ao mesmo tempo uma metáfora, um modelo (no sentido de um diagrama técnico) e um construto teórico. É uma tentativa de descrever o real por meio da manipulação de símbolos, assim como a linguagem nos permite falar sobre o mundo e sobre nós mesmos, combinando expressões vocais (Hoffmann & Laszlo, 1991). Os resultados encontrados em dois estudos independentes, ambos relatados em Treagust et al. (2003), sobre a utilização de representações simbólicas (por exemplo, fórmulas químicas) e submicroscópicas (por exemplo, desenhos de estruturas moleculares) por professores e estudantes do nível médio de escolas australianas, corroboram a afirmação de Wu et al. (2001) sobre a importância desses tipos de representação. Os pesquisadores concluíram que a compreensão sobre um conceito e a habilidade de explicá-lo pode ser aumentada ao se fazer conexões entre as experiências sobre o comportamento de substâncias químicas no nível macroscópico com os níveis de representação simbólico e submicroscópico (Treagust et al., 2003).

Porém, para que os estudantes possam fazer tais conexões, eles precisam adquirir uma mobilidade confortável entre os níveis representacionais, o que é um grande desafio para professores e pesquisadores. A fim de promover a aquisição dessa fluência, é importante conhecer as dificuldades específicas em relação às representações. Wu et al. (2001) identificaram essas dificuldades como sendo de três tipos. Primeiro, a maioria dos estudantes não consegue interpretar apropriadamente

os significados químicos das representações. Por exemplo, eles tendem a interpretar fórmulas como abreviações de nomes e não como uma maneira de representar a composição das substâncias. Segundo, estudantes possuem menor capacidade, comparada à dos cientistas, de construir representações equivalentes para uma dada representação, além de muitos não conseguirem fazer transferências de um modo representacional para outro, por exemplo, entre a fórmula e o modelo bola-e-vareta. A terceira dificuldade de aprendizagem envolve especificamente a transformação mental entre representações bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D) e também a previsão mental do efeito de rotação em uma imagem tridimensional.

Essa dificuldade, especificamente associada às habilidades de visualização tridimensional, é relatada em outro trabalho (Tuckey & Selvaratnam, 1993) como sendo constituída de três níveis. O mais simples deles envolve a percepção acurada de padrões espaciais em objetos tridimensionais, a partir da representação bidimensional. A orientação espacial, isto é, a habilidade de imaginar como uma representação apareceria a partir de uma perspectiva diferente está em um nível maior de dificuldade. Finalmente, no mais alto nível de dificuldade, encontra-se a habilidade de visualizar os efeitos de operações como rotação, reflexão e inversão, ou manipular objetos na imaginação. Algumas das capacidades compatíveis com essa habilidade são destacadas pelos autores: percepção de profundidade e distância em diagramas e fotografias de moléculas simples; identificação de diagramas de moléculas simples antes e depois de rotação; visualização da posição relativa de íons em diagramas de retículos cristalinos; identificação de diagramas de modelos de moléculas com seus modelos bola-e-vareta. Em todas essas situações, existe a necessidade de se fazer transposições de um tipo de representação para outros.

REPRESENTAÇÕES INTERNAS E EXTERNAS

Dificuldades como as relatadas anteriormente precisam ser superadas pelos estudantes, tanto de Química quanto de outras ciências, a fim de que eles sejam capazes de utilizar representações. As representações são usualmente classificadas em

representações internas e externas. Quando uma pessoa, por exemplo, um cientista, expõe um modelo mental por meio de um ou mais modos de representação, ela está fornecendo uma *representação externa* daquele modelo. A *representação interna* que outra pessoa forma a partir daquela representação externa é o modelo mental daquela pessoa (Gilbert, 2008).

Em uma pesquisa que buscava verificar como os cientistas conectam as representações internas e externas, Trafton, Trickett e Mintz (2005) encontraram duas respostas. Cientistas podem executar transformações espaciais em visualizações externas, o que faz com que se conectem as representações internas e externas, levando-os a mesclar as duas representações. Outra maneira seria comparar suas próprias representações internas com uma representação externa. Nesse processo de comparação, eles parecem fazer uma adaptação entre as duas representações. A segunda maneira é consonante com a visão de Ramadas (2009), que acredita que, ao se deparar com diferentes representações externas, em telas de computador, por exemplo, os cientistas as comparam entre si, e com suas próprias representações internas, transformando-as mentalmente, de maneira a obter uma combinação entre elas.

No contexto do ensino de ciências, representações externas têm todos os potenciais para ajudar a diminuir o impacto dos outros fatores geradores de dificuldade (Mammino, 2008). Mammino afirma que representações constituem ferramentas de comunicação adicional que independem, em grande parte, do domínio de uma linguagem específica, sendo capazes de esclarecer conteúdos de textos e explicações de sala de aula. Ela também considera que representações podem diminuir o risco de interpretações incorretas da informação fornecida por um texto (que, por depender do domínio da linguagem em que é escrito, apresenta esse risco). Porém, ainda segundo Mammino (2008), um letramento visual inadequado pode diminuir os benefícios de representações externas, por causa da falta de familiaridade em ler e interpretar imagens, da falta de hábito de antecipar ou projetar as imagens mentalmente e do domínio inadequado em desenhar. De maneira semelhante,

Ainsworth (2008) considera que é necessário cuidado para que as múltiplas representações possam ser ferramentas que ajudem os estudantes a desenvolver conhecimentos científicos complexos. Ele afirma que principiantes precisam do suporte de outros, sejam pares ou professores. Nesse sentido, Cook, Wiebe e Carter (2008) destacam que, para fazer conexões entre múltiplas representações, os alunos precisam, inicialmente, selecionar o que eles percebem como sendo os aspectos mais relevantes, para posteriormente processá-los. Os autores afirmam que essa seleção de informações relevantes é requerida devido às limitações da capacidade da memória de trabalho.

Outra contribuição de representações externas ocorre na produção de conhecimentos compartilhados. Em uma pesquisa conduzida em uma escola dos Estados Unidos com alunos de 16-17 anos trabalhando em grupos em atividades diversas (que incluíam um *software* que oferecia ferramentas para criar suas próprias representações de fenômenos químicos), Michalchik et al. (2008) analisaram as conversas dos estudantes enquanto desempenhavam suas tarefas. Eles concluíram que representações visuais, utilizadas lado a lado com discursos, gestos e outras formas de comunicação, modelam e ajudam os estudantes a fundamentar seu discurso e produzir conhecimento compartilhado, construído com a contribuição mútua. Baseados em sua análise, eles concluíram que o discurso dos estudantes tornou-se “mais químico” e que eles aprofundaram sua compreensão sobre a natureza molecular dos fenômenos físicos. Acreditamos que atividades como esta são importantes para que os estudantes experimentem situações semelhantes às vivenciadas pelos cientistas na construção do conhecimento e na comunicação com seus pares. Consideramos, ainda, que tais atividades possuem grande potencial para desfazer a visão ingênua sobre os cientistas e seu trabalho, que os estudantes freqüentemente apresentam, como discutido no início deste capítulo.

Representações internas também são centrais para o ensino de ciências, segundo Gobert (2005). A autora, que utiliza o termo *visualização interna* com o significado de *representação interna*, afirma que esta não é empiricamente tratável via

abordagens metodológicas utilizadas em ensino de ciências até agora. Pesquisas que tratam do assunto, o fazem por meio de um pressuposto, subjacente à teoria da aprendizagem empregada. Coll e Treagust (2003) destacam que, devido ao caráter pessoal dos modelos mentais, as descobertas das pesquisas nessa área se baseiam em como os pesquisadores interpretam os modelos expressos dos participantes, sendo tal interpretação inevitavelmente mediada pelas convicções ontológicas e epistemológicas dos pesquisadores, e pelos instrumentos de pesquisa empregados. Como apresentado anteriormente, um modelo mental é uma representação que existe na mente do indivíduo, sendo, portanto, uma representação particular e pessoal (Gilbert et al., 2000) e sua elaboração é um processo complexo e idiossincrático, não podendo, portanto, ser detalhadamente descrito (Justi, 2006). Por isso, Treagust et al. (2000) afirmam que é um desafio para os professores, tanto os de nível médio, quanto os universitários, compreender como os estudantes desenvolvem seus modelos mentais.

VISUALIZAÇÃO EM CIÊNCIAS E EM ENSINO DE CIÊNCIAS

A fim de que as representações façam sentido, é necessário o que chamamos de *capacidade de visualização*. Consideraremos, a seguir, algumas definições para esse termo, segundo o que se encontra na literatura.

Os três empregos acadêmicos mais comuns para visualização em psicologia e pesquisa educacional (Gobert, 2005) são: *visualização externa* (representações gráficas, modelos, simulações, diagramas etc.); *visualização interna* (constructos mentais, isto é, modelos mentais) e visualização como um tipo de *habilidade espacial* (habilidade de manipular ou transformar a imagem ou padrões espaciais em outros arranjos). Gobert (2005) destaca, ainda, a importância de se notar que esses três empregos do termo visualização não se excluem mutuamente. Por exemplo, aprender por meio de uma representação externa provavelmente requer a construção de uma representação interna do objeto ou fenômeno sob investigação e que façam parte desse processo de construção as habilidades espaciais de visualização.

Gilbert, Reiner e Nakhleh (2008) destacam que diferentes comunidades de especialistas utilizam diferentes terminologias e que o fato de essas comunidades não estarem em contato direto pode dificultar suas contribuições, teóricas e práticas, para a compreensão da influência da visualização no ensino de ciências. Os autores dividem esses sistemas genéricos em duas convenções. Na primeira delas: (i) uma representação é a descrição de algo; (ii) uma representação externa é uma representação que foi colocada em domínio público, na forma visual, verbal, material ou simbólica; (iii) uma visualização é a compreensão de, ou o significado atribuído a uma representação interna. De acordo com a segunda convenção: (i) uma visualização é uma representação colocada em domínio público na forma visual, verbal, material ou simbólica; (ii) uma representação mental produzida por um indivíduo a partir de uma visualização é uma imagem. Resumindo, Gilbert et al. (2008) afirmam que a diferença entre as duas convenções se encontra no significado da palavra *visualização*. Enquanto na primeira convenção ela é um verbo (visualizar algo é atuar mentalmente sobre ele), na segunda é um substantivo (visualização é algo que está em domínio público).

Gilbert (2008) acredita que a visualização, em primeiro lugar, diz respeito à formação de uma representação interna a partir de uma representação externa, de maneira que as relações temporais/espaciais entre as entidades das quais ela é composta são preservadas. A capacidade de visualização pode ser manifestada, com um propósito particular, por meio da produção ou expressão de uma versão da entidade original. Ainda segundo o autor, uma representação interna tem que ser mentalmente útil para fazer previsões sobre o comportamento de um fenômeno sob condições específicas. Além disso, é possível que, a partir da visualização de algumas representações internas, por meio de criatividade, essas possam ser reformuladas para formar uma nova representação interna que, por sua vez, pode originar uma representação externa.

Nesta perspectiva, a compreensão que um modelo mental possibilita é a visualização de estrutura e comportamento da entidade representada. Por exemplo,

um modelo mental de um fenômeno torna possível prever, no sentido de visualizar, como ele se comportaria em diferentes circunstâncias (Justi et al., 2009).

Briggs e Bodner (2005) presumem que a visualização é uma operação mental e que representação é o objeto e o resultado dessa operação. Por outro lado, Kozma e Russell (2005) consideram que há dois tipos de representações que os químicos utilizam para entender fenômenos químicos – as que são internas, representações mentais, e aquelas que são externas, expressões simbólicas. Os químicos desenvolveram a habilidade de “ver” a química em suas mentes, em termos de imagens de moléculas e suas transformações. Daí a facilidade que eles têm de transitar entre todos os níveis de representação.

Visualização também pode ser definida como qualquer tipo de representação física destinada a fazer visível um conceito abstrato, como diagramas, quadros, representações gráficas bidimensionais, modelos tridimensionais etc. (Uttal & O'Doherty, 2008) ou a representação visual de um processo (Rapp & Kurby, 2008), ou, ainda, como uma nova representação visual de dados (Rapp, 2005).

Nakhleh e Postek (2008) argumentam que *representação* é, em seu trabalho, um termo mais adequado do que *visualização*, uma vez que representações podem ser visuais, auditivas, táteis ou mesmo olfativas. Os autores aceitam a definição de representação como

“uma estrutura que ocupa o lugar de outra coisa: uma palavra para um objeto, uma sentença para uma situação, um diagrama para uma organização de coisas, uma pintura para uma cena” (McKendree, Small, Stenning e Conlon, 2002, p. 59).

Além disso, eles (i) distinguem entre representações externas que são apresentadas ao aluno e representações internas que são construídas pelo aluno; (ii) reconhecem que as disciplinas de ciências contêm muito mais tipos de representação do que elas enumeram, como gráficos, diagramas moleculares e animações; (iii) consideram que diferentes disciplinas de ciências podem ter ainda detalhes adicionais refinados (por exemplo, em Química, os três níveis representacionais).

O conceito de visualização adotado por nós neste trabalho está de acordo com a proposta de Gilbert (2008), segundo a qual visualização é o significado que o indivíduo atribui a uma representação, seja ela interna ou externa. Concordamos com a primeira das duas convenções destacadas por Gilbert et al. (2008) e citadas anteriormente, ou seja, consideramos que a visualização ocorre quando o sujeito atua mentalmente sobre uma representação, conferindo, desta maneira, um sentido à mesma. A adoção desse conceito em nosso trabalho é coerente com as questões que esta pesquisa pretende investigar, as quais, como explicitado no capítulo 3, dizem respeito à compreensão das representações em Química e ao papel de tais representações na elaboração e comunicação do conhecimento científico. Destacamos, ainda, que o objetivo da pesquisa é verificar como atividades de modelagem podem contribuir para a citada compreensão e que, em tais atividades, os estudantes são *agentes* do processo, criando representações próprias, criticando aquelas elaboradas por colegas e atribuindo significado, tanto às primeiras, quanto às outras.

Considerando visualização como sendo o significado atribuído por uma pessoa a uma representação, podemos exemplificar situações em que esse conceito possa ser aplicado. Ao se deparar com a representação simbólica $NaCl$, para a substância cloreto de sódio, um estudante poderá interpretá-la (visualizá-la) como sendo uma maneira de indicar a proporção entre os íons Na^+ e Cl^- na estrutura cristalina do composto. Por outro lado, é possível que a fórmula química em questão seja, para o estudante, uma indicação de que existem moléculas de $NaCl$.

Outro exemplo é a situação, ocorrida em uma pesquisa mencionada anteriormente (Michalchik et al., 2008), em que estudantes se depararam com o desenho de uma solução aquosa de cloreto de sódio, em que se representavam tanto a água, no nível macroscópico (líquido colorido de azul), quanto o nível submicroscópico (íons do sal e moléculas de água). Um estudante considerou que a água era representada pelo líquido azul e pelas bolinhas. A mesma representação

poderia ter sido visualizada de outra maneira, se o estudante não considerasse relevante a representação macroscópica, se atendo às partículas representadas.

A visualização de um modelo concreto para o cloreto de sódio, em que os íons são representados por esferas e as ligações, por palitos, pode ocorrer de maneira diferenciada. Um estudante poderá compreender que as ligações são mantidas por entidades físicas (como o palito une as esferas), enquanto outro será capaz de compreender que os palitos representam as forças envolvidas nas interações entre os íons.

A despeito das diferenças nas terminologias e conceitos associados a representações e ao sentido que a elas se atribui, atualmente parece haver concordância entre os autores sobre a importância da visualização em ciências e no ensino de ciências. Isto é evidenciado pelo fato, relatado por Gilbert (2005), de que o interesse pelo papel de objetos materiais, figuras, diagramas, tabelas, gráficos e assim por diante, no ensino de ciências, tem aumentado muito, mais ou menos na última década. Ele atribui o grande aumento do número de pesquisas e trabalhos nessa linha a duas tendências sociais. Primeiro, tem ocorrido uma ênfase muito maior em introduzir no ensino, em todos os níveis do sistema educacional, aspectos sobre natureza e processos da ciência. Segundo, tem ocorrido uma maior disponibilidade de computadores mais potentes, com os quais se podem manipular modelos e simulações em um formato virtual.

Segundo Tversky (2005), visualizações são essenciais no ensino, compreensão e criação de idéias científicas, não sendo exclusivas das ciências. A autora acredita que visualizações pertencem a uma grande classe de ferramentas cognitivas, de pessoas de todas as culturas e épocas, para raciocinar, descobrir e comunicar uma ampla extensão de idéias. Muitos, senão todos, os cientistas fazem uso de imagens visuais na resolução de problemas, a fim de escolher e organizar informações, estabelecer analogias e raciocinar (Hoffmann & Laszlo, 1991).

Visualizações podem ajudar os estudantes na aprendizagem porque elas fazem com que informações complexas fiquem mais acessíveis e cognitivamente manejáveis. O pensamento visual e espacial é uma parte integral do fazer e aprender ciência (Ramadas, 2009). Visualizações destacam as partes da informação que se pretende que os estudantes percebam, dando suporte à aprendizagem entre principiantes e a novas descobertas entre *experts* (Uttal & O'Doherty, 2008). No entanto, os autores chamam a atenção de que, para que a aprendizagem seja favorecida pela visualização, os estudantes precisam compreender que visualizações¹⁰ existem para *representar* conceitos e objetos, e que elas estabelecem relações com aquilo que representam. Eles acreditam que a relação entre a visualização e o que ela representa raramente é óbvia para principiantes.

Rapp (2005) destaca que visualizações¹¹ são, muitas vezes, atraentes e que atividades projetadas para promover o engajamento dos estudantes com utilização das mesmas têm maior probabilidade de influenciar positivamente na aprendizagem. Segundo o autor, visualizações podem ser interativas, favorecendo a construção de modelos mentais, a partir dos quais os alunos podem fazer inferências, testá-las e rever suas suposições.

Demonstrações, simulações, modelos, gráficos em tempo real, vídeos etc. podem contribuir para a compreensão dos estudantes sobre conceitos científicos por produzir imagens mentais associadas a conceitos abstratos. Eles possibilitam a apreensão e manutenção do que é essencial de certos fenômenos, mais efetivamente do que descrições verbais ou textuais (Dori & Belcher, 2005). Professores, de acordo com Mathewson (2005), deveriam entender a natureza visual da ciência, e não permitir que palavras e textos dominem imagens, modelos e ações. Quem o autor chama de “pensador visual” se sente em casa no mundo científico.

¹⁰ Os autores se referem ao termo *visualização* como sendo uma representação visual.

¹¹ Também consideradas como representações visuais.

Acreditamos que ferramentas como as descritas pelos autores devam ser utilizadas de maneira a ajudar os estudantes a compreender melhor o que se ouve nas aulas expositivas e o que se lê nos livros didáticos, tendo, nesse sentido, um papel complementar e facilitador.

De acordo com Gilbert (2008), a visualização é de especial importância na aprendizagem de modelos específicos, por exemplo, os modelos utilizados, de maneira consensual, por uma comunidade de cientistas ou suas versões simplificadas, chamadas de *modelos curriculares*. O autor alega que visualizar representações externas de tais modelos e formar representações internas dos mesmos é essencial para que se adquira conhecimento.

METAVISUALIZAÇÃO E COMPETÊNCIA REPRESENTACIONAL

“Um desempenho fluente em visualização requer o que se chama *metavisualização*, que envolve as habilidades de adquirir, monitorar, integrar e extrapolar, a aprendizagem de representações” (Gilbert, 2008, p. 5).

Gilbert (2005) sugere que o termo *metavisualização* pode ser entendido como “metacognição em relação à visualização” (p. 15). Parece não existir ainda uma definição unívoca de metacognição (Ribeiro, 2003). O conceito é complexo e ainda hoje em discussão. Neste trabalho, consideramos a definição proposta em Gilbert (2005): um conjunto de construtos inter-relacionados, referentes à cognição acerca da cognição (Gilbert, 2005 *apud* Hertzog e Dixon, 1994). Compreendemos que, ao fazer uso da metacognição, o estudante torna-se consciente (e agente) do processo da própria aprendizagem.

Ainda segundo Gilbert (2008), existem alguns critérios para se reconhecer a capacidade de *metavisualização* em uma pessoa. Esta deve demonstrar as habilidades referentes às capacidades de: (i) compreender as convenções utilizadas para representações em modos 3D, 2D e 1D, isto é, o que elas podem e não podem representar (por exemplo, compreender uma representação da estrutura do fulereno,

sua abrangência e limitações); (ii) transpor um dado modelo para outros modos em que ele pode ser representado (por exemplo, um desenho da estrutura de um cristal iônico para um modelo concreto feito de massa de modelar e palitos); (iii) construir uma representação em qualquer modo dimensional para um dado propósito; (por exemplo, um desenho das partículas presentes em um sistema contendo sal de cozinha e água para explicar a formação de uma solução); (iv) resolver novos problemas usando uma abordagem baseada em modelos (por exemplo, ao propor um modelo que explique o funcionamento de alguma coisa ou fenômeno). Justi, Gilbert e Ferreira (2009) consideram, ainda, a capacidade de (v) utilizar a visualização como a base para fazer previsões sobre comportamentos para um dado modelo (por exemplo, visualizar a estrutura submicroscópica de um cristal iônico e prever como ele se quebra, caso submetido a uma força externa). A segunda capacidade acima citada (transpor um dado modelo para outros modos em que ele pode ser representado) é parte do que Wu et al. (2001) chamam de *habilidades representacionais*, que incluem fazer traduções entre diferentes tipos de representação e transformar uma estrutura bidimensional em uma tridimensional. Eles consideram que, para fazer tais traduções, pode ser necessário não apenas o conhecimento conceitual das representações químicas, mas também a criação de imagens mentais dessas representações.

O conceito de *metavisualização* de Gilbert (2008) (metacognição em relação à visualização) é coerente com o de *competência representacional* de Kozma e Russell:

“Competência representacional é um termo usado para descrever um conjunto de habilidades e práticas as quais permitem que uma pessoa use reflexivamente uma variedade de representações ou visualizações, isoladamente ou em conjunto, a fim de pensar sobre, comunicar, e agir sobre fenômenos químicos em termos de entidades físicas e processos subjacentes e não perceptivos.” (Kozma & Russell, 2005, p. 131)

A coerência entre a proposta de Gilbert e a de Kozma pode ser constatada quando se comparam as habilidades que o primeiro propõe (acima citadas) com as que constituem a *competência representacional* (Kozma & Russell, 1997, 2005), que são as habilidades de:

- utilizar representações para descrever fenômenos químicos em termos de entidades moleculares e processos (habilidade **i**, em Gilbert, 2008);
- gerar ou selecionar uma representação e explicar por que ela é apropriada para um determinado propósito (habilidade **iii**, em Gilbert, 2008);
- utilizar palavras para identificar e analisar aspectos de uma representação (por exemplo, um pico num gráfico) e padrões de aspectos (por exemplo, o comportamento de moléculas em uma animação) (habilidades **i** e **ii**, em Gilbert, 2008);
- descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e explicar como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser dito por outra (habilidade **ii**, em Gilbert, 2008);
- fazer conexões entre diferentes representações, para mapear aspectos de um tipo de representação naqueles de outra (por exemplo, o mapeamento de um pico de um gráfico em um diagrama estrutural), e explicar a relação entre eles (habilidade **ii**, em Gilbert, 2008);
- assumir a posição epistemológica de que representações correspondem a, mas são distintas de, os fenômenos que são observados (compreensão básica do conceito de modelo);
- utilizar representações e seus aspectos em situações sociais como evidência para sustentar alegações, fazer inferências e previsões sobre fenômenos observáveis (habilidades **iv**, em Gilbert, 2008 e **v**, em Justi, Gilbert e Ferreira, 2009).

Os autores afirmam que o desenvolvimento dessas habilidades pode ajudar os estudantes a estender uma compreensão construída sobre os aspectos superficiais de uma forma de representação simples, para uma que é conectada a outras formas e inclui princípios e conceitos subjacentes. Neste trabalho, consideramos que o

desenvolvimento da capacidade de visualização se relaciona diretamente às habilidades descritas, isto é, a compreensão dos modos e convenções de representação pode significar tal desenvolvimento.

Kozma e Russel (2005) propuseram uma estrutura conceitual dessas habilidades que as organiza em padrões característicos de uso representacional em cinco estágios ou níveis. Assim, pode-se considerar esta estrutura como um esquema do desenvolvimento da competência representacional (Gilbert, 2008). Um resumo desses níveis de competência representacional é apresentado a seguir.

- **Nível 1: representação como um retrato.** Ao representar um fenômeno físico, a pessoa se baseia apenas em suas características físicas. É uma representação icônica, isomórfica. Por exemplo, o aluno desenha a dissolução de uma substância iônica em água como um recipiente com um líquido transparente.
- **Nível 2: habilidades simbólicas primitivas.** Ao representar um fenômeno físico, a pessoa se baseia em suas características físicas, mas inclui também alguns elementos simbólicos, para compensar as limitações do meio. Por exemplo, no desenho citado anteriormente, como a representação no papel é estática, o aluno utiliza setas para representar a agitação do sistema durante a dissolução.
- **Nível 3: utilização sintática de representações formais.** Ao representar um fenômeno físico, a pessoa se baseia em suas características físicas observáveis e não-observáveis, entidades ou processos subjacentes (por exemplo, uma causa não observada). O sistema representacional pode ser inventado e idiossincrático e as entidades ou processos representados podem não ser cientificamente corretos. A pessoa é capaz de usar corretamente representações formais, mas o foco é na utilização sintática e não no significado da representação. Por exemplo, no desenho citado anteriormente, o aluno acrescenta bolinhas para representar as partículas do soluto, mas não

representa as do solvente e nem as interações entre essas partículas (indicando não compreender, total ou parcialmente, o significado das bolinhas).

- Nível 4: utilização semântica de representações formais. Ao representar um fenômeno físico, a pessoa utiliza corretamente um sistema simbólico formal para representar entidades e processos subjacentes e não observáveis. É capaz de utilizar um sistema de representação formal com base em regras sintáticas e significados relativos ao fenômeno físico representado. Ocorre utilização espontânea de representações para explicar um fenômeno, resolver um problema e fazer uma previsão. Por exemplo, o aluno representa a dissolução evidenciando a existência de partículas de solvente e soluto, bem como as interações entre elas.
- Nível 5: utilização reflexiva e retórica de representações formais. Ao *explicar* um fenômeno físico, a pessoa utiliza uma ou mais representações para explicar a relação entre propriedades físicas e entidades e processos subjacentes. A pessoa é capaz de (i) utilizar aspectos específicos de uma representação para justificar afirmações dentro de um contexto social e retórico; (ii) selecionar ou construir a representação mais apropriada para uma situação e explicar por que essa representação é mais apropriada que outra; (iii) assumir a posição epistemológica de que não podemos observar diretamente certos fenômenos e que estes podem ser compreendidos somente por meio de representações. Por exemplo, o aluno representa um sistema constituído de sal de cozinha dissolvido em água, evidenciando a existência de suas partículas e interações e o utiliza a fim de explicar verbalmente, para outra pessoa, a condutibilidade elétrica da solução, com base na movimentação dos íons presentes na mesma.

A utilização, neste trabalho, da expressão “competência representacional” se justifica pela definição desses níveis. Acreditamos que, uma vez que existem níveis de

competência representacional, desde o mais básico (utilização de representações icônicas) até aquele mais sofisticado (utilização reflexiva e retórica de representações), podemos utilizar o termo, mesmo quando os alunos apresentam desempenhos inferiores ao que se espera deles.

Kozma e Russel não supõem que o desenvolvimento da competência representacional seja automático ou uniforme, pois uma pessoa pode apresentar alguns comportamentos associados a um nível mais alto em um contexto e a níveis mais baixos em outros contextos. No entanto, eles acreditam que, com o passar do tempo, os estudantes podem desenvolver habilidades representacionais de forma crescente. Para que tal desenvolvimento ocorra, situações físicas e sociais apropriadas devem ser propiciadas aos estudantes e eles precisam internalizar as habilidades desenvolvidas, integrando-as a uma prática regular. Outros autores (Tuckey & Selvaratnam, 1993) concordam afirmando que, com o aumento da idade e educação, os estudantes têm mais oportunidades de ter experiências com as convenções utilizadas nas representações, o que contribui para melhorar sua percepção tridimensional.

Vários autores (Cook et al., 2008; Kleinman, Griffin, & Kerner, 1987; Kozma & Russell, 1997, 2005; Uttal & O'Doherty, 2008) se preocuparam em analisar o desempenho de principiantes (aprendizes) e de *experts* (especialistas), no que diz respeito a representações e visualização em Química. Especialistas, como os cientistas profissionais, precisam ser prontamente capazes de visualizar um modelo quando o encontram em qualquer modo ou submodo, e em qualquer nível de representação (Gilbert, 2005). Por outro lado, os principiantes tendem a apresentar um desempenho pobre em visualização. Além disso, Cook (2006) afirma que os principiantes geralmente são incapazes de perceber que representações com diferentes estruturas superficiais podem se referir a um mesmo assunto.

Um trabalho significativo nessa área foi desenvolvido por Kozma e Russel (1997), ao compararem como químicos profissionais e estudantes de Química

interpretavam uma variedade de representações químicas. Os resultados foram analisados de acordo com as capacidades requeridas (resolução de problemas, conhecimento prévio, compreensão de diferentes representações, tradução de uma representação em outra, enfim, o que os autores chamam de *competência representacional*). Em todas as tarefas que testavam as habilidades citadas, os profissionais apresentaram melhor desempenho. Os autores acreditam que isto se deve, em grande parte, ao fato de que especialistas possuem um conhecimento que consiste de um grande número de elementos interconectados, que estão armazenados e são evocados como informações coerentes, bem organizadas, em torno dos princípios fundamentais da situação que se deseja explicar. Cook (2006, 2008) parece concordar, ao afirmar que os especialistas são capazes de ir além dos aspectos superficiais de representações visuais, devido ao fato de possuírem conhecimento prévio relevante em abundância. Enquanto isso, em alguns momentos, o conhecimento apresentado por principiantes é caracterizado, em Kozma e Russel (1997), como sendo fragmentos desconectados que correspondem a experiências comuns do dia-a-dia. Enquanto especialistas utilizam seu conhecimento prévio para perceber princípios subjacentes em uma situação problema, principiantes vêm somente objetos e eventos. Os principiantes se mostram menos hábeis ao lidar com representações, tanto na sua compreensão, quanto na transferência de um tipo de representação para outro. Por outro lado, especialistas utilizam, naturalmente, múltiplas representações. Hoffmann e Laszlo (1991) destacam a facilidade com que os químicos constroem, em sua mente, estruturas tridimensionais a partir de desenhos e a naturalidade com que utilizam desenhos para comunicar a seus pares um modelo tridimensional. Quanto à utilização de linguagem verbal, na pesquisa descrita em Kozma e Russell (1997), os químicos experientes também apresentaram melhor resultado, tendo sido mais capazes de fazer afirmações sobre os princípios químicos e conceitos subjacentes aos fenômenos a partir de todos os sistemas simbólicos que são utilizados por profissionais dessa área.

Comparando estudantes de química, químicos formados, corpo docente de uma universidade e estudantes de pós-doutorado norte-americanos, Kleinman et al. (1987) pesquisaram sobre a capacidade de abstração de imagens. Os pesquisadores desenvolveram uma lista de termos químicos que poderiam ser associados a imagens (por exemplo, ligação, energia, equilíbrio, solubilidade, orbital) e elaboraram um método para determinar as imagens específicas que os sujeitos associavam a esses termos. Eles encontraram resultados que apontaram para um aumento do grau de abstração de imagens com o nível profissional, com o aumento da experiência com conceitos químicos. Os químicos experientes tenderam a suprimir a imagem associativa em favor de modelos mentais (por exemplo, uma descrição de uma abstração como *densidade eletrônica para orbital*), enquanto os estudantes tenderam a formar conceitos por associação de palavras (por exemplo, ao fornecer como única resposta ao termo solubilidade, as letras *Kps*).

Interpretações literais de representações são muito comuns entre principiantes, como destacado por Mammino (2008). Um dos exemplos citados pela autora é a convicção de que elétrons (e também *spins*) possuem a forma de pequenas setas. Também em Física (Dori & Belcher, 2005), principiantes se baseiam em aspectos literais para criar representações que contêm entidades diretas, familiares e visíveis. Por sua vez, especialistas incluem, em suas representações, artefatos que evocam princípios físicos fundamentais, como forças, momentos, campos etc.

Segundo Uttal e O'Doherty (2008), estudantes novatos de ciências de níveis secundário e universitário enfrentam os mesmos desafios que crianças menores quando em contato, pela primeira vez, com uma nova visualização. É possível que eles não consigam obter uma compreensão clara ao tentar interpretá-la e que vejam apenas os aspectos físicos da representação, sem fazer uma correspondência entre a representação e aquilo a que ela se refere.

Em um trabalho que diz respeito a como a interpretação de representações gráficas pode ser influenciada pelo conhecimento prévio, Cook et al. (2008) concluíram

que aspectos superficiais não desviam a atenção dos estudantes que possuem esquemas prévios de conhecimento. Em sua pesquisa, eles compararam a atenção visual que os investigados, estudantes americanos do nível secundário, destinaram a representações bidimensionais (desenhos) macroscópicas e submicroscópicas para um mesmo fenômeno. O fenômeno da difusão e osmose foi apresentado aos estudantes em representações bidimensionais, na tela de um computador. Um programa de vídeo, combinando reflexão de pupila e córnea, rastreava o olhar dos estudantes, registrando em que representações eles detinham o olhar mais vezes e por mais tempo. Os autores concluíram que os estudantes que apresentavam pouco conhecimento prévio (nesse contexto, os principiantes) prestaram maior atenção aos aspectos macroscópicos e interpretaram ambos os desenhos de uma maneira bastante literal. Por outro lado, aqueles com maior conhecimento prévio se detiveram mais nas representações submicroscópicas do que os primeiros o fizeram. Além disso, os estudantes com maior conhecimento prévio conseguiram estabelecer conexões entre a representação submicroscópica e os aspectos macroscópicos do fenômeno representado. Os autores consideraram que isto é uma evidência de que esses estudantes conectaram as informações presentes nas representações com seus próprios conhecimentos. No contexto que discutimos nos últimos parágrafos (principiantes e especialistas), podemos afirmar que o melhor desempenho em relacionar os dois modos representacionais, na citada pesquisa (Cook et al., 2008), é condizente com o desempenho que teria sido esperado para um especialista. É também relevante destacar a afirmação dos autores de que a maior parte da literatura nessa área se concentra nas diferenças entre principiantes e especialistas, mas a maioria dos estudantes se situa tipicamente *entre* esses dois extremos.

Não há unanimidade no que diz respeito à possibilidade de uma pessoa adquirir (ou melhorar) a capacidade de visualização. Tuckey e Selvaratnam (1993) mencionam que alguns pesquisadores pressupõem que as habilidades relacionadas à visualização são tácitas ou inatas, isto é, não podem ser ensinadas. No entanto, há aqueles que acreditam na possibilidade de se adquirir a capacidade metavisual. Tais autores (por

exemplo, Gilbert, 2008; Kozma & Russell, 1997; Lord, 1985; Mathewson, 2005; Tuckey, Selvaratnam, & Bradley, 1991) parecem concordar que esta não é uma tarefa fácil para os estudantes, sendo necessário desenvolver estratégias de ensino que promovam essa aquisição.

Consideremos como exemplo de trabalho em que se buscou verificar a melhora da capacidade visuo-espacial¹², por meio de uma intervenção aplicada a estudantes, a pesquisa relatada em Lord (1985). Os sujeitos da pesquisa, estudantes universitários norte-americanos de Biologia, foram submetidos a sessões semanais de exercícios espaciais que envolviam “manipulação mental” de representações tridimensionais. Conforme relatos do autor, os resultados demonstraram que é possível melhorar o potencial cognitivo dos estudantes, na formação e manipulação mental de imagens, por meio de intervenções cuidadosamente planejadas.

Outra pesquisa que serve como exemplo de que a capacidade de visualização pode ser adquirida (ou, ao menos, melhorada), foi relatada por Tuckey, Selvaratnam e Bradley (1991). Seu estudo envolveu aspectos básicos do pensamento tridimensional: visualização e representação (do tipo bola-e-vareta e por meio de fórmulas bidimensionais) de estruturas tridimensionais de moléculas e das mudanças que ocorrem durante as operações de rotação e reflexão dessas estruturas. A pesquisa envolveu estudantes de uma universidade da África do Sul (os autores não especificaram de que curso), em um programa de instrução terapêutico, a fim de tentar suprir a deficiência em alguns conceitos e habilidades básicas, constatada em um pré-teste. Após a instrução, verificou-se uma melhora em cada um dos conceitos e habilidades requeridos para a solução de problemas tridimensionais comuns.

Com o objetivo de melhorar o pensamento tridimensional em Química, Tuckey e Selvaratnam (1993) sugerem, principalmente, instruções específicas que envolvam a capacidade de visualização, *sem* que se dependa da utilização de modelos, diagramas

¹² Lord (1985) entende *capacidade visuo-espacial* como sendo a habilidade de formar e controlar uma imagem mental.

espaciais, espelhos, sombras e figuras dinâmicas em computadores. Os autores reconhecem que essas ferramentas são comprovadamente úteis como auxílio ao professor, mas como os livros didáticos e jornais, geralmente, utilizam representações bidimensionais, seria mais útil empregar métodos que conduzissem os estudantes a visualizar estruturas tridimensionais a partir de bidimensionais.

Em nossa pesquisa, consideramos que, mesmo trabalhando com as ferramentas citadas acima, os estudantes podem se tornar capazes de traduzir o modo bidimensional para o tridimensional, desde que as atividades a eles propostas forneçam oportunidades para desenvolver também essa capacidade. Acreditamos ser possível promover situações em que os estudantes elaborem modelos espaciais e desenhos a partir dos mesmos (ou ao contrário, desenhem um modelo e construam uma representação concreta do mesmo).

Kozma e Russel (1997) acreditam que a competência representacional pode ser promovida pelo engajamento dos estudantes na criação de representações variadas e na reflexão sobre seus significados. A sugestão é de que eles trabalhem em pares ou em grupos e utilizem várias representações enquanto conversam sobre química – para descrever, explicar, questionar e discutir – como os químicos fazem.

Para o letramento em capacidade visual, Gilbert (2005) concorda com a abordagem proposta por Hearnshaw (1994), a “boa prática geral” recomendada aos professores e autores de livros didáticos. Duas dessas recomendações seriam:

- começar com as formas de representação disponíveis mais comuns e geometricamente simples;
- utilizar a maior variedade possível de modos e submodos de representação, introduzindo-os deliberada, constante e sistematicamente.

Alguns autores, (Justi et al., 2009), acreditam que o trabalho prático pode contribuir para o desenvolvimento da capacidade metavisual, desde que se preste atenção em:

- focar nos aspectos do fenômeno sob investigação que requerem explicações produzidas por meio de representações submicroscópicas e simbólicas;
- mostrar como a ciência fornece explicações de discernimento progressivamente maior, que se aplicam a exemplos sempre mais complexos de um fenômeno;
- perceber que representações externas no nível macroscópico têm uma relação distinta e de certo alcance com o mundo como o conhecemos;
- mostrar aos estudantes que representações no nível macroscópico fornecem-lhes um ponto de partida para a exploração do mundo como o conhecemos;
- ajudar os estudantes a gerar questões baseadas em representações externas no nível macroscópico, de modo que suas percepções do mundo como o conhecemos sejam intensificadas.

Mathewson (2005) acredita existirem três fatores intimamente ligados, que, possivelmente, sejam os mais significativos para a aprendizagem visual em ensino de ciências: (i) as habilidades de observação; (ii) os níveis de abstração visual e (iii) a utilização de modelos. O autor afirma que as crianças começam a desenvolver habilidades de observação bastante cedo, no início da vida escolar e que, submetidas a atividades apropriadas para sua idade, vão sendo preparadas para utilizar observações e trabalhar com imagens. O nível de abstração visual vai, igualmente, sendo estimulado, com a crescente introdução de representações (mapas, relógios, calendários etc.). Os modelos teriam um papel estratégico nesse desenvolvimento, começando com situações muito interativas, mas menos reflexivas, até se atingir visualizações mais abstratas e mentalmente engajadas.

As “imagens principais” da ciência, que são encontradas em todo tipo de representação científica, foram condensadas por Mathewson (2005), em uma lista onde se encontram os padrões, estruturas, objetos e fenômenos (enfim, o conteúdo visual da ciência), além dos principais procedimentos científicos (abordagens empíricas, tratamento de dados, comunicações e processos cognitivos que são

fundamentalmente visuais). Alguns exemplos que poderiam ser citados são: simetria, estrutura, tempo, polaridade, reflexão etc. (lista de imagens) e codificação, visualização, desenvolvimento de modelos, aquisição de dados etc. (lista de procedimentos). Gilbert (2008) defende que tal lista deva ser explicitamente ensinada, no nível do desenvolvimento de currículos, a fim de facilitar o desenvolvimento metavisual.

Gilbert (2008) reconhece as dificuldades de se avaliar a obtenção da capacidade metavisual, pois, para qualquer habilidade específica de visualização que está se tornando metacognitiva, a pessoa está empreendendo um processo do qual pode haver uma consciência interna, mas esta não é evidente no comportamento manifesto por ela. Além disso, a pessoa pode não ter consciência de que esse processo está ocorrendo. Em um trabalho que pretende identificar momentos em que cientistas e estudantes parecem estar utilizando imaginação¹³, Clement (2008) propõe que se observem os *movimentos de mãos* que esses indivíduos fazem, durante a resolução de problemas. O autor acredita, e sua pesquisa confirma, que tais movimentos podem ser uma manifestação externa daquilo que, com freqüência, é um processo inteiramente mental de raciocínio envolvendo imaginação de natureza visual e/ou sinestésica. Ele assume que, nesse caso, tais movimentos de mão não têm a conotação de um procedimento de comunicação, mas sim de auxílio no processo de raciocínio, sendo reflexo direto desse processo, antes de ser uma translação indireta de conclusões verbais. Esse processo de simulação mental descrito pelo autor é por ele denominado “simulação imagística”¹⁴. Convém salientar, ainda, que este autor não considera o movimento de mãos como evidência conclusiva de que o sujeito está utilizando imaginação, mas sim que isto pode ser tomado como uma das fontes de evidência. Outra fonte seria a declaração expressa do sujeito investigado, sem que o

¹³ No sentido da manipulação mental de imagens, a fim de gerar simulações mentais para fazer previsões, durante a resolução de problemas.

¹⁴ Clement (2008) se refere, no caso, a momentos em que previsões de situações futuras emergem da utilização de simulações mentais.

entrevistador peça relato algum sobre a utilização de imagens mentais. Gilbert (2005) sugere que se pode obter informação sobre o processo metacognitivo vivenciado por alguém, perguntando-se diretamente à pessoa, ou por meio de tarefas em que esta “pense alto” durante a resolução de um problema, ou ainda solicitando que a pessoa ensine a outros como conseguir resolver tal problema.

MODELAGEM NO ENSINO DE QUÍMICA

No sentido de se buscar que os estudantes desenvolvam a capacidade de metavisualização, acreditamos que o ensino de Química por meio de estratégias que envolvem modelagem¹⁵ pode contribuir não só para que a aprendizagem seja mais efetiva, mas também para a compreensão das representações. Recentes pesquisas na área de educação em ciências destacam o uso de modelos como ferramenta de fundamental importância no entendimento e comunicação da Química (Clement, 2008a, 2008b; Clement & Steinberg, 2008; Coll, 2006; Erduran, 2001; Justi, 2006; Justi & Gilbert, 2002a; Justi et al., 2009).

Propostas de ensino fundamentadas em atividades de modelagem têm-se mostrado mais frequentes, inserindo-se no contexto de abordagens que valorizam o conhecimento prévio do estudante e a compreensão significativa dos conteúdos. Além disso, a promoção de atividades de modelagem no contexto escolar engaja professores e estudantes e tende a enriquecer o processo de ensino e aprendizagem. O engajamento dos alunos nesse tipo de proposta tem grande potencial para contribuir para que eles aprendam de maneira mais participativa (Justi, 2006). O uso de modelos e modelagem ajuda os estudantes a desenvolver seus próprios modelos mentais das substâncias químicas (Treagust & Chittleborough, 2001). Estudantes podem se tornar capazes de conhecer os principais modelos da Química; desenvolver uma visão adequada da natureza dos modelos; apreciar o papel dos modelos na

¹⁵ Aqui entendida como o processo dinâmico de elaborar, expressar, testar, modificar e utilizar modelos.

credibilidade e disseminação dos produtos da investigação química, ao criar e expressar seus próprios modelos (Justi & Gilbert, 2002a). Pelo potencial de associar observação de fenômenos e/ou análise de conceitos e idéias à construção de modelos, atividades de modelagem permitem que os alunos transitem entre diferentes níveis e formas de representação, o que contribui para que eles as compreendam. Além disso, os alunos têm a oportunidade de melhorar suas habilidades de pensar sobre e comunicar idéias complexas (Mathewson, 2005). Por sua vez, os professores têm oportunidades valiosas de monitorar o desenvolvimento de seus alunos através de seus modelos desenvolvidos e modificados.

Maia e Justi (2009) descreveram os resultados da aplicação de uma estratégia baseada em modelagem para o ensino de equilíbrio químico em uma escola de ensino médio de Belo Horizonte. Tais resultados foram positivos, tanto para a aprendizagem do tema quanto para desenvolvimento da capacidade metavisual. Os estudantes puderam entender o processo no nível submicroscópico e associar este último à interpretação das evidências macroscópicas (deslocamento de equilíbrio) e ao uso e compreensão das representações simbólicas adequadas (equações químicas).

Outro trabalho que destaca as vantagens do ensino de ligações químicas, mais especificamente interações intermoleculares, por meio de atividades de modelagem, é descrito em Carvalho et al. (2006). Os autores afirmam acreditar no potencial das atividades de modelagem para, entre outros: conscientizar os estudantes da importância dos modelos e da modelagem na ciência; aumentar o engajamento e motivação dos estudantes, bem como sua autoconfiança; tornar acessíveis ao professor os modelos de seus alunos e ajudar os estudantes a compreender as abrangências e limitações dos modelos por eles elaborados. Tendo participado da elaboração e aplicação da referida estratégia, acreditamos poder afirmar que a expectativa dos autores se cumpriu, e que houve uma aprendizagem significativa do conteúdo no que diz respeito ao principal objetivo da estratégia: diferenciar interação interatômica de interação intermolecular. No tocante a representações e visualização, consideramos que essa estratégia de ensino teve um papel importante junto aos

estudantes, pois eles elaboraram modelos para um sistema macroscópico (iodo sólido), utilizando representações tridimensionais (modelos concretos), a fim de explicar, no nível submicroscópico, o que eles observaram em um experimento (sublimação da amostra sob aquecimento). Seus modelos foram testados, por meio de um novo experimento (novamente a sublimação do iodo e teste com amido) e por meio de dados empíricos (temperatura de fusão e ebulição do iodo) e reformulados, quando necessário. Além disso, ao comunicar seus modelos para a turma, os alunos fizeram o que consideramos ser uma tradução do modo concreto para o modo verbal e, eventualmente, gestual. Em vista disso, acreditamos que a estratégia contribuiu para a *visualização* das entidades que constituem o iodo (moléculas, e não átomos). Tal conclusão é consonante com a afirmação de que

“modelos podem tornar o abstrato mais concreto e, conseqüentemente, mais visualizável, desta maneira fazendo com que fique mais fácil para os estudantes imaginar a natureza do fenômeno no nível microscópico” (Justi & Gilbert, 2002b, p. 1279).

A despeito da grande exposição a modelos em aulas expositivas, livros didáticos e atividades baseadas em computadores, estudantes de cursos de Química Geral, que participaram de um estudo qualitativo em duas faculdades norte-americanas, ainda usaram aspectos superficiais de modelos ao construir suas explicações e negligenciaram os conceitos subjacentes relevantes (O'Connor, 1997 *apud* Wu et al., 2001). Os modelos a que os alunos são expostos, geralmente, lhes são apresentados prontos, sem que se refira a como eles foram elaborados e às abrangências e limitações que lhes são particulares. Atividades de modelagem, segundo acreditamos, têm grande potencial para ajudar os estudantes a compreender melhor a natureza dos modelos e seu papel na elaboração e comunicação de conhecimentos científicos.

No século XIX, as discussões científicas eram conduzidas de maneira a se partir do fenômeno, para, em seguida, propor fórmulas moleculares e empíricas e somente então, considerar fórmulas estruturais (Barke & Engida, 2001). Considerando os níveis e modos representacionais a que nos referimos nesta pesquisa, podemos dizer que, à

época mencionada, o ponto de partida era o nível macroscópico (substâncias, suas propriedades e/ou suas transformações), seguindo para o nível simbólico (fórmulas e equações químicas) e para o nível submicroscópico (modelos estruturais das substâncias, considerando suas propriedades ou transformações). Barke e Engida (2001) acreditam que esse modelo de discussão científica ainda se faz presente nas salas de aula, com os professores seguindo essa maneira “histórica” de apresentar fórmulas químicas. No entanto, eles acreditam na possibilidade de, começando do nível macroscópico, discutir os modelos estruturais da matéria (nível submicroscópico) e, a partir desses, derivar fórmulas e equações (nível simbólico). Consideramos que a proposta dos autores é condizente com a proposta de atividades de modelagem, em que os estudantes partem das substâncias, suas propriedades e transformações (nível fenomenológico, macroscópico), para construir modelos estruturais que forneçam explicações para tais fenômenos (nível submicroscópico), que, por sua vez, possibilitam a dedução, por exemplo, de proporções entre as partículas do sistema modelado (nível simbólico).

Recentemente, vários autores (Barnea & Dori, 1996; Michalchik et al., 2008; Wu et al., 2001) se dedicaram a investigações envolvendo modelagem¹⁶ computadorizada, enquanto outros vários (Ainsworth, 2008; Dori & Belcher, 2005; Gobert, 2005; Halpine, 2004; Kozma & Russell, 2005; Nakhleh & Postek, 2008; Russell & Kozma, 2005; Stieff, Bateman, & Uttal, 2005; Tasker & Dalton, 2008) se interessaram por animações ou simulações virtuais.

Por exemplo, Barnea e Dori (1996) enumeraram algumas vantagens da modelagem molecular via computadores sobre os modelos rígidos. Com os programas,

¹⁶ Não se pretende aqui que o termo *modelagem*, empregado por estes e por outros autores, tenha exatamente o mesmo significado que é empregado nesta pesquisa (processo dinâmico de elaborar, expressar, testar, modificar e utilizar modelos). Tampouco pretendemos afirmar que os passos envolvidos no processo de modelagem, conforme os compreendemos e consideramos, sejam os mesmos passos presentes nas propostas desses autores. Utilizamos o mesmo termo porque os autores dos artigos ora comentados assim o fizeram.

podem ser construídas moléculas de qualquer tamanho e modelo, com cada tipo de átomo tendo um padrão de cor diferente e uma proporção bastante precisa em relação a seu tamanho, o que faz com que a representação seja mais acurada. Além disso, símbolos atômicos podem ser adicionados a (ou removidos da) figura, conforme se deseje, a fim de melhorar a compreensão do modelo. Acreditamos que as vantagens citadas por Barnea e Dori (1996) não sejam exclusivas de sua proposta, uma vez que sabemos, por nossa experiência em atividades de modelagem, que os estudantes podem utilizar materiais que permitam essa versatilidade como, por exemplo, massa de modelar de diversas cores e bolinhas de isopor de tamanhos variados. Não se pode garantir que a proporção de tamanho dos átomos seja precisa, mas os estudantes podem trabalhar com tamanhos relativos, o que julgamos suficiente para o propósito desse tipo de atividade.

Michalchik et al. (2008) constataram, por meio da análise do comportamento de estudantes durante a modelagem computadorizada, que estes se engajaram nas atividades de uma maneira mais aproximada da vivenciada pelos cientistas. Acreditamos, a partir das experiências elaboradas e vivenciadas em nosso grupo de pesquisa, que esse tipo de engajamento é natural a atividades de modelagem em geral (e não só àquelas que envolvem o auxílio de computadores), em função de as mesmas favorecerem a discussão entre colegas e a construção conjunta de conhecimentos.

Wu et al. (2001) concluíram que estudantes de uma escola secundária norte-americana, submetidos a uma instrução semelhante às citadas (com a utilização de computadores), tiveram sua compreensão das representações químicas substancialmente melhorada e que o programa ajudou-os a visualizar como transformar um modelo bidimensional em outro tridimensional. Novamente, consideramos que não é necessário que se faça uso desse tipo de recurso (que, aliás, não é acessível a todos em nossa realidade escolar) para que a modelagem possa atingir resultados semelhantes aos descritos.

Pesquisas como a de Treagust e Chittleborough (2001) apontam para a vantagem da aprendizagem cooperativa¹⁷, em que os estudantes trabalham em grupos pequenos, para resolver um problema, realizar uma atividade prática em laboratório, elaborar um mapa conceitual ou cumprir uma tarefa. Acreditamos que atividades que envolvem modelagem são condizentes com a aprendizagem cooperativa, uma vez que requerem a interdependência positiva que caracteriza esse tipo de aprendizagem.

Aprender sobre a natureza e utilidade de modelos científicos e se engajar no processo de criar e testar modelos deveria ser, segundo Schwarz e White (2005), um foco central no ensino de ciências. Justi e Gilbert (2002a) destacam que todos os estudantes de ciências devem aprender a construir modelos e, para tal, necessitam desenvolver habilidades que se referem, em grande parte, à capacidade representacional. A competência para a modelagem é adquirida de maneira gradual, uma vez que se trata de um processo complexo, que compreende várias habilidades, cada uma delas necessitando ser apreendida pelo indivíduo envolvido na construção de modelos. Os autores afirmam que os professores precisam possuir um conhecimento adequado do que é vinculado ao processo de modelagem, a fim de ajudar os estudantes a aprender a construir modelos. Em outro trabalho, Justi e Gilbert (2002b) encontraram evidências de que muitos professores não compreendem o conceito de modelo, tampouco o processo de produção do mesmo. Tal resultado parece demonstrar que professores não estão preparados para conduzir o ensino de ciências por meio de modelagem. Torna-se fundamental, portanto, promover o desenvolvimento da compreensão, por parte dos professores, sobre a natureza e utilização de modelos. Somente então, eles estariam aptos a aprender como orientar seus alunos em atividades de modelagem.

¹⁷ A aprendizagem cooperativa é caracterizada pela interdependência entre os estudantes com referência a cumprir uma tarefa. Os estudantes trabalham juntos a fim de atingir uma meta comum. Os alunos compartilham todos os aspectos do processo e espera-se que todos os indivíduos contribuam para a tarefa do grupo. A avaliação é baseada no produto do grupo, não na realização individual (Shibley Jr. & Zimmaro, 2002).

Visando facilitar a discussão sobre como modelos são importantes no desenvolvimento do conhecimento científico, Justi e Gilbert (2002a) propuseram uma estrutura geral para o processo de modelagem vivido por cientistas, que é representada através do diagrama Modelo de Modelagem, apresentado na figura 2.5. Nesse sentido, o diagrama não pretende oferecer uma descrição fiel de como todos os cientistas trabalham – algo que seria impossível em função da complexidade do processo de produção do conhecimento e de idiossincrasias da produção do mesmo em diferentes áreas. No entanto, ele identifica as etapas que compõem o processo de elaboração de modelos.

Quando uma pessoa, seja um cientista ou um estudante de ciências, elabora um modelo, ela executa (ou vivencia) as etapas e os processos que o diagrama descreve, uma vez que tais processos são inerentes à construção de modelos. É importante destacar que os autores não pretendem que o diagrama Modelo de Modelagem seja seguido como uma regra para se construir modelos ou como um algoritmo, em que há uma ordem rígida ou uma seqüência linear de procedimentos. Além disso, as setas duplas (ver figura 2.5) indicam uma interatividade entre os elementos descritos pelo diagrama, e que não existe uma única direção a se seguir, o que é coerente com a natureza dinâmica da produção de conhecimento.

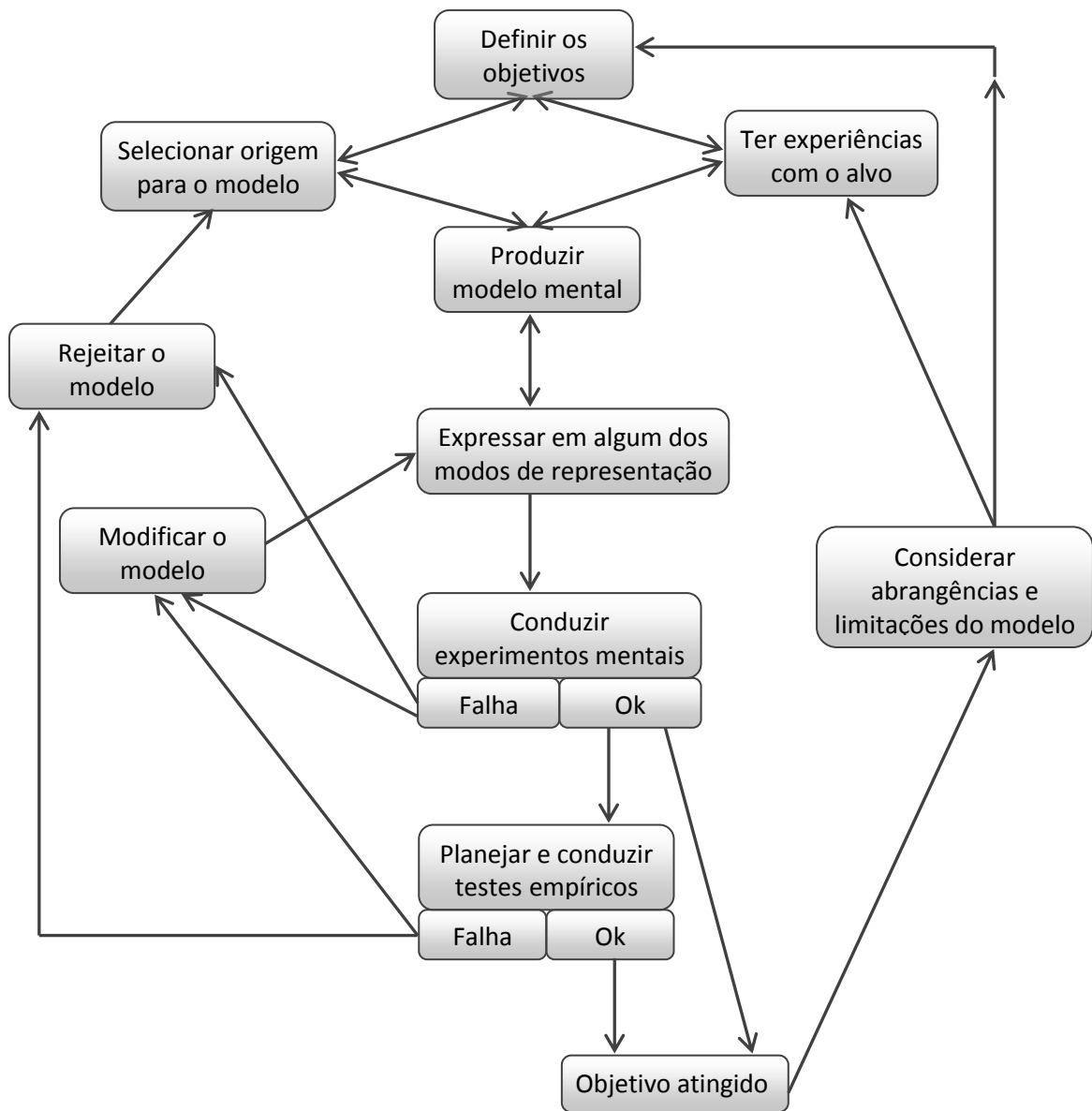


Figura 2.5. Diagrama “Modelo de Modelagem” (Justi e Gilbert, 2002a, p.371).

Analisando-se a figura 2.5, temos inicialmente que é preciso *definir os objetivos* para os quais o modelo será construído. Segundo Justi e Gilbert (2002a), nessa etapa define-se qual entidade ou fenômeno o modelo pretende explicar, descrever ou fazer previsões sobre. A seguir, busca-se *ter experiências com o alvo*, o que Justi (2006) define como buscar observações ou informações iniciais sobre a entidade, que podem ser diretas ou indiretas, qualitativas ou quantitativas. Tais observações podem ser advindas de informações que a pessoa já possui ou podem ser adquiridas

empiricamente. Simultaneamente à organização dessas observações ou informações, é necessário definir, ainda, que aspectos da realidade serão considerados para se estabelecer relações com a entidade que está sendo modelada, isto é, *selecionar a origem* para o modelo. Nas palavras de Justi e Gilbert, essa etapa envolve a seleção dos aspectos com os quais é possível estabelecer “transferências analógicas das relações entre as entidades da origem com as entidades do alvo” (Justi & Gilbert, 2002a, p. 371).

A obtenção e organização de experiências e a seleção de uma origem adequada, aliadas à criatividade e ao raciocínio, permitem que um *modelo mental* inicial seja elaborado pela pessoa. Justi (2006) considera que, na elaboração desse modelo mental inicial, a pessoa pode modificar um modelo já existente ou criar seu próprio.

O processo, como descrito até aqui, constitui, ainda segundo Justi (2006), a *Etapa 1* do processo de modelagem. A autora afirma que esta é uma etapa complexa e cíclica, não sendo possível descrevê-la detalhadamente devido às idiosincrasias que a caracterizam.

A *Etapa 2* se inicia com a decisão sobre a forma de representação a ser utilizada para expressar o modelo mental inicial. Ao procurar expressar seu modelo, pode-se perceber a necessidade de modificá-lo, o que pode levar à necessidade de modificações na forma de representação e assim por diante. Em outras palavras, essa etapa também tem caráter não linear e cíclico, pois a expressão do modelo pressupõe que a representação e o modelo mental sejam adequados um ao outro. Para que isso ocorra, podem ser necessárias várias alterações tanto no modelo mental quanto no expresso.

A seguir, o modelo expresso deve ser submetido à etapa de testes (*Etapa 3*). Os testes podem acontecer de duas maneiras: por meio de experimentos mentais ou com a utilização de experimentos empíricos. Dependendo do conhecimento prévio da pessoa envolvida no processo de modelagem e dos recursos materiais disponíveis,

podem ser feitos ambos os tipos de testes. Os experimentos mentais, aqui entendidos como simulações mentais, se relacionam ao que Clement (2008) chama de *imaginação dinâmica*: um fluxo interno de percepções e/ou ações imaginadas, as quais permitem que o sujeito experimente alguns aspectos dessas percepções e/ou ações, que existiriam se esses eventos estivessem realmente acontecendo. Justi (2006) destaca que não há uma definição sobre quantidade de testes de cada tipo e tampouco sobre em que ordem eles devem ser realizados. Terminados os testes, consideram-se as previsões feitas a partir do modelo, isto é, aquelas que serviram como base para a elaboração e condução dos testes. Caso o modelo falhe em relação a tais previsões, é necessário tentar modificá-lo (voltar ao ciclo), ou mesmo rejeitá-lo (voltar à etapa inicial).

O sucesso na etapa de testes indica que foram satisfeitos os objetivos para os quais o modelo foi elaborado e ele deve, então, ser socializado, a fim de se tentar que outros fiquem convencidos de sua validade. Esse procedimento constitui a *Etapa 4* (Justi, 2006), também caracterizada pela explicitação, pela pessoa que elaborou o modelo, de suas abrangências (o que o modelo é capaz de explicar) e de suas limitações (o que ele não consegue explicar), em relação aos objetivos para os quais foi construído. Caso o modelo sofra críticas que o invalidem, poderá ser necessária sua reformulação (volta ao ciclo), que naturalmente levará em conta as considerações feitas. Considerando que a proposta do diagrama *Modelo de Modelagem* é fornecer uma estrutura geral do processo vivenciado pelos cientistas, a última etapa representa a comunicação entre os pares (comunidade científica), que pode levar à validação ou rejeição do modelo proposto.

Justi (2006) propõe que o professor se baseie no diagrama acima descrito, para planejar e conduzir estratégias de ensino em que os estudantes se envolvam em atividades de modelagem, vivenciando situações semelhantes às que os cientistas experimentam. Ao mesmo tempo, os alunos têm a oportunidade de aprender o modelo curricular que o professor pretende ensinar, de maneira mais participativa, sendo agentes na construção do próprio conhecimento. É importante destacar que a

autora não pretende que o diagrama seja apresentado aos estudantes, mas sim que fundamente as atividades a eles propostas.

O trabalho aqui apresentado se baseia no estudo de uma situação de ensino do tema ligação iônica, em que atividades de modelagem foram elaboradas e conduzidas a partir desse diagrama. A descrição dessas atividades, bem como das aulas em que foram aplicadas, é feita mais adiante.

Embora não seja objetivo deste trabalho verificar a aprendizagem de ligação iônica, consideramos importante apresentar, a seguir, uma breve revisão da literatura sobre as concepções mais comumente apresentadas pelos estudantes durante a aprendizagem desse tema. Isto se justifica porque as mesmas têm relação direta com as representações elaboradas pelos estudantes ou com a maneira como eles visualizaram essas e outras representações.

O ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA

Ligação iônica é um tema em cuja aprendizagem os estudantes apresentam muitas e grandes dificuldades, segundo a literatura (Coll & Treagust, 2003; Fernandez & Marcondes, 2006; Mendonça & Justi, in print; Mortimer, 1994; Taber, 1994; Taber & Coll, 2003; Treagust & Chittleborough, 2001).

Os modelos de ligação iônica apresentados pelos estudantes parecem estar fundamentados em três suposições (Fernandez & Marcondes, 2006). Em geral, os estudantes acreditam: (i) que a valência determina o número de ligações iônicas formadas; (ii) que as ligações são formadas apenas entre os átomos que doaram e os que aceitaram elétrons; e (iii) na existência de forças menos intensas, além da ligação entre os íons, dois a dois (Taber, 1994).

A *regra do octeto* também é amplamente citada na literatura (Coll & Treagust, 2003; Fernandez & Marcondes, 2006; Mortimer, 1994; Taber & Coll, 2003; Treagust & Chittleborough, 2001) como uma explicação indiscriminadamente fornecida pelos estudantes a fim de justificar a ocorrência de ligações, incluindo a ligação iônica.

Mortimer (1994) acredita que a abordagem utilizada pelos livros didáticos reforça a idéia dessa regra como sendo um dogma ou ritual a ser seguido, pois ela é destacada ao se abordar a ligação química, em detrimento da associação da última com o abaixamento da energia potencial do sistema.

O modelo eletrostático é mais adequado ao ensino de ligação iônica, pois permite explicar a relação entre a formação da ligação e o abaixamento da energia do sistema e sua estabilidade (Mendonça & Justi, in print). Além disso, é possível explicar o número de ligações formadas, a estrutura (McWenny, 1979) e as propriedades das substâncias iônicas. Mendonça e Justi (in print) defendem que tal modelo pode ser utilizado no ensino médio, desde que os estudantes tenham o conhecimento prévio necessário, o qual envolve modelo de partículas, modelo atômico de Bohr, elétrons de valência, Lei de Coulomb¹⁸ e as propriedades periódicas energia de ionização, afinidade eletrônica e raio atômico. Taber (1994) também sugere que os professores, ao ensinar ligação iônica, enfatizem as forças eletrostáticas em rede e dêem menor destaque à formação dos íons.

Em um estudo que aborda os modelos mentais para a ligação iônica, Coll e Treagust (2003) constataram que estes variam de acordo com o nível em que os estudantes se encontram. De acordo com os autores, os estudantes secundários investigados viram a ligação iônica como atração entre espécies com cargas opostas que se originam da transferência de elétrons, a qual é decorrente do 'desejo' dos átomos de obter o citado octeto eletrônico e, conseqüentemente, estabilidade. Entre as representações pictóricas que lhes foram apresentadas, a mais escolhida foi a do

¹⁸ Lei que pode ser expressa pela equação $F = \frac{k q_1 \cdot q_2}{r^2}$, em que F é a força de atração (e repulsão)

eletrostática entre as cargas, consideradas puntiformes; k é uma constante, que depende do meio; q_1 e q_2 representam as cargas dos cátions e ânions e r , a distância entre essas cargas. A relação entre a força e as cargas elétricas é diretamente proporcional, ou seja, quanto maiores forem as cargas, maior a força de interação; a força e a distância se relacionam em proporção inversa, ou seja, com o aumento da distância entre as partículas, a força de interação entre elas diminui. Na concepção das autoras, os alunos devem apresentar esse entendimento qualitativo sobre a lei.

modelo simples e realístico, contendo bolas ou esferas, as quais eles acreditavam serem, de fato, os átomos e íons. A concepção alternativa que mais se destacou nesse nível educacional foi a crença na existência de molecularidade na rede iônica. Os estudantes universitários, por sua vez, viram a estrutura em rede como um componente-chave das substâncias iônicas, com maior ênfase no modelo eletrostático e apresentando um maior domínio da terminologia específica. Representações pictóricas realísticas também foram preferidas, mas considerando as bolas e esferas como cópias da realidade, e não como a própria. Os que já haviam se formado também se identificaram mais fortemente com o modelo eletrostático, reconhecendo a existência de redes iônicas, o que foi enfatizado por sua preferência por representações de redes contínuas. Apenas nesse nível, os investigados demonstraram compreender melhor a existência do contínuo iônico-covalente¹⁹. No entanto, as descobertas da pesquisa sugerem que estudantes de todos os níveis educacionais apresentaram concepções alternativas referentes ao tamanho e forma de íons e presença de caráter molecular na rede iônica, além de terem preferido utilizar os modelos mais simples. Uma das recomendações presentes no trabalho de Coll e Treagust (2001) é que os professores enfatizem a relação entre o nível macroscópico e o submicroscópico, e que a utilizem para explicar a natureza e o propósito dos modelos da ligação iônica. Nesse sentido, acreditamos no potencial das atividades de modelagem para atender à recomendação feita pelos autores, o que o leitor poderá constatar na descrição das aulas em que se baseia a investigação que aqui procuramos fazer.

Barke e Engida (2001) destacam a necessidade de que os estudantes desenvolvam a capacidade de estabelecer a relação entre o modelo estrutural para os

¹⁹ Nenhuma ligação é completa e literalmente iônica. Para fins práticos, no entanto, muitos compostos podem ser tratados, com aproximação razoável, como se as forças atrativas fossem somente devidas à atração eletrostática entre os íons de cargas opostas. Essa simplificação, em que se faz uma descrição puramente iônica, leva a estimativas bastante precisas das entalpias de formação dos compostos (Cotton & Wilkinson, 1978).

sólidos iônicos e a fórmula que representa esses sólidos, isto é, que compreendam que a fórmula representa a *proporção* entre os íons presentes no retículo cristalino. Em outras palavras, é necessário fazer a tradução entre o modo simbólico e o submicroscópico. A nosso ver, o ensino de ligação iônica baseado em atividades de modelagem pode facilitar o desenvolvimento dessa capacidade.

Há, ainda, relatos da literatura que apontam para outras concepções alternativas dos alunos, como a visão das ligações químicas como entidades físicas e a idéia de que, para serem formadas, as ligações químicas requerem energia e, quando quebradas, liberam energia (Boo, 1998).

Considerando a grande probabilidade de ocorrência de algumas dessas concepções quando os alunos aprendem ligação iônica, a elaboração da estratégia de ensino de ligação iônica por meio de atividades de modelagem, aplicada aos sujeitos desta pesquisa, levou em consideração as concepções e outros aspectos relatados na literatura aqui destacados.

CAPÍTULO 3. DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA

QUESTÕES DE PESQUISA

A presente pesquisa relaciona-se com a aprendizagem dos alunos sobre modos e convenções de representação que são utilizados em Química. De uma maneira sintética, pretendemos investigar a influência de atividades de modelagem que objetivam a aprendizagem de ligação iônica no desenvolvimento da capacidade de visualização, pelos estudantes, das entidades envolvidas nesse tipo de ligação, bem como suas interações e convenções de representação. Pretendemos, ainda, verificar como essas atividades influenciam na compreensão do papel das representações no trabalho dos cientistas. As questões de pesquisa deste trabalho são definidas como:

1. Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão dos modos e convenções de representação utilizados em Química?
2. Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão do papel de representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico?

Consideramos que as compreensões citadas estão fortemente associadas ao desenvolvimento da capacidade de visualização por parte dos estudantes. Portanto, acreditamos poder verificar se tal desenvolvimento ocorreu, tendo como base a verificação da ocorrência ou não de tais compreensões.

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A pesquisa se desenvolveu durante o ano letivo de 2007, em uma turma da segunda série do ensino médio de uma escola pública federal de Belo Horizonte. A turma tinha 32 alunos, todos pertencentes à faixa etária padrão para a série, cursada em turno integral. Como destacado anteriormente, esta pesquisa foi realizada no contexto da

aplicação de uma estratégia de ensino de ligação iônica (Mendonça & Justi, 2009a, 2009b).

A elaboração da citada estratégia de ensino levou em consideração que os alunos apresentavam os seguintes conhecimentos prévios (os quais já haviam sido ensinados naquela escola): modelo cinético-molecular; modelo atômico de Bohr e distribuição eletrônica em níveis de energia; utilização da tabela periódica e as propriedades periódicas energia de ionização, afinidade eletrônica e raio atômico; elétrons de valência; Lei de Coulomb²⁰; estados de agregação da matéria e mudanças de estado de agregação. Além disso, previu-se a necessidade de se discutir com os alunos o gráfico de energia potencial em função da distância entre os núcleos atômicos, a fim de que eles adquirissem o conhecimento básico sobre abaixamento de energia e estabilidade das substâncias. Essa discussão faz parte das atividades previstas para as aulas, e está presente na descrição das mesmas, apresentada adiante.

A professora dessa turma possuía larga experiência com o ensino baseado em modelagem, tendo, inclusive, participado da elaboração das atividades aplicadas aos estudantes.

A estratégia de ensino, cujas atividades serão descritas adiante, já havia sido aplicada pela mesma professora, em duas ocasiões anteriores à considerada nesta pesquisa. Na primeira delas, em uma escola pública estadual de Belo Horizonte, o estudo foi realizado com o propósito de analisar se e como as atividades contribuíram para a aprendizagem dos alunos e identificar a existência de falhas ou a necessidade de adequações na estratégia. Na segunda ocasião, as atividades foram aplicadas na mesma instituição em que a presente pesquisa foi realizada, também objetivando investigar a aprendizagem resultante.

²⁰ Os alunos haviam estudado a Lei de Coulomb, na disciplina Física, no ano anterior ao considerado nesta pesquisa.

A turma de alunos pesquisada foi dividida em seis grupos, segundo o critério de livre escolha (ver Tabela 3.1). Nesta tabela, assim como ao longo de toda esta dissertação, usaremos o código Gx (onde x é um número de ordem) para identificar os diferentes grupos de alunos e AyGx (onde y é um número de ordem) para identificar cada um dos alunos de um dado grupo.

GRUPO	ALUNOS
G1	A1G1, A2G1, A3G1, A4G1, A5G1, A6G1
G2	A1G2, A2G2, A3G2, A4G2, A5G2
G3	A1G3, A2G3, A3G3, A4G3, A5G3
G4	A1G4, A2G4, A3G4, A4G4, A5G4, A6G4
G5	A1G5, A2G5, A3G5, A4G5, A5G5
G6	A1G6, A2G6, A3G6, A4G6, A5G6

Tabela 3.1. Alunos pertencentes a cada um dos grupos da turma pesquisada.

É importante destacar que esses alunos já estavam habituados a trabalhar em grupo nas aulas de Química e também de outras disciplinas, desde o ano anterior ao aqui considerado, quando cursaram a primeira série do ensino médio na mesma instituição em que os dados desta pesquisa foram coletados. Eles também estavam habituados a fazer desenhos de partículas (modelos cinético-moleculares) para representar os estados de agregação da matéria e as mudanças de estado de agregação.

METODOLOGIA DE COLETA DOS DADOS

Os dados foram coletados durante 7 aulas, com a duração de 100 minutos cada, nas quais os alunos trabalharam divididos em grupos, conforme especificado anteriormente. Oito semanas após o término das atividades sobre ligação iônica, os

estudantes trabalharam individualmente, ocasião em que responderam a um questionário pós-instrução, o qual será descrito adiante. As questões do questionário pós-instrução, elaboradas visando avaliar, especificamente, as habilidades relacionadas à visualização, foram validadas pela professora da turma e pela outra pesquisadora envolvida na coleta de dados. Elas foram solicitadas a checar a clareza dos enunciados e a identificar o que cada questão poderia avaliar. Como resultado de discussões com ambas, algumas modificações foram feitas na versão original antes que as questões fossem aplicadas aos alunos.

A instrução teve início somente após a assinatura de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido por parte dos alunos e de seus responsáveis e do Termo de Consentimento da Diretoria da Escola para a realização da pesquisa.

Todas as aulas foram registradas em áudio e vídeo, com foco nas discussões ocorridas entre os estudantes, em grupos, e também nas situações em que ocorreu a participação de toda a turma, além daquelas ocorridas entre os alunos e a professora.

Todo o material escrito produzido pelos alunos durante o processo, incluindo o questionário pós-instrução, respondido individualmente, e as avaliações a que eles foram submetidos, de forma igualmente individual, foi recolhido. Além disso, foram feitos registros (fotos) dos modelos construídos e reelaborados pelos alunos.

Durante as aulas, a professora fez anotações de campo, registrando momentos que considerou importantes no processo de ensino e aprendizagem desenvolvido.

Foram coletadas, ainda, respostas de alguns dos estudantes envolvidos na pesquisa, em entrevistas abertas (qualitativas) e semi-estruturadas. Os alunos entrevistados foram escolhidos com base em suas atividades escritas, a fim de elucidar idéias ou incoerências por nós detectadas, e considerando sua participação nas aulas, a fim de aprofundar ou esclarecer dúvidas a respeito do processo de elaboração dos modelos. As entrevistas permitiram validar os dados coletados nas atividades escritas, uma vez que deram aos entrevistados a oportunidade de acrescentar ou esclarecer informações, além de nos permitir verificar a adequação da análise dos dados (Cohen,

Manion, & Morrison, 2000). As entrevistas foram conduzidas e filmadas por outra pesquisadora (PFM), que conduzia, na mesma turma, uma pesquisa relativa ao desenvolvimento de outras habilidades dos alunos. As questões da entrevista referentes a este trabalho (Anexo 1) abordavam, especificamente, aspectos relacionados à visualização e compreensão das representações e foram elaboradas com o objetivo de investigar o foco das questões desta pesquisa.

Acreditamos que a validade dos dados coletados por meio das entrevistas se deveu, pelo menos em parte, ao fato de que uma das possíveis fontes de viés foi evitada, no que diz respeito ao entrevistador. A escolha da pesquisadora PFM, com a qual os estudantes já estavam habituados, por ter sido quem realizou as filmagens de todas as aulas, diminuiu a probabilidade de dificuldades de comunicação ou intimidação entre as partes. Além de ser uma pessoa conhecida dos entrevistados, a linguagem utilizada por ela se aproximava daquela utilizada durante a instrução, pela professora. Além disso, a entrevistadora era muito experiente, tanto em atividades de modelagem, quanto na condução de entrevistas com estudantes. Todos os fatores citados nos levaram a confiar em que os estudantes estiveram suficientemente à vontade durante as entrevistas. As entrevistas foram integralmente transcritas, a partir das gravações em áudio e vídeo, de maneira a facilitar a análise dos dados que delas emergiram.

A não participação do pesquisador durante a coleta de dados é um dos fatores que pode influenciar positivamente na validade da pesquisa, conforme Cohen et al. (2000). No caso do presente trabalho, podemos afirmar que não houve participação da pesquisadora em tal momento, uma vez que os dados aqui analisados, com exceção do questionário pós-instrução e das entrevistas, foram coletados para outra pesquisa. Não houve, portanto, interesse em se dirigir os investigados a produzir dados que pudessem fortalecer ou confirmar suposições convenientes a este trabalho. Em outras palavras, os dados não foram coletados para se “moldar” a um conceito pré-concebido ou ideal. Ao contrário, eles se tornaram os motivadores para a realização desta pesquisa. A pesquisa para a qual os dados foram coletados tinha seu foco no

desenvolvimento de habilidades de investigação dos estudantes quando envolvidos em modelagem e não dizia respeito a representações e seu papel no ensino e aprendizagem de Química.

Para o tipo de pesquisa que desenvolvemos, é fundamental que o pesquisador não tente manipular variáveis ou condições, a fim de que as situações ocorram da maneira mais natural possível (Cohen et al., 2000), o que caracteriza sua validade ecológica. Acreditamos ter garantido a validade ecológica em nossa pesquisa, pois a coleta dos dados se realizou na sala de aula, ambiente em que os estudantes já estavam acostumados a trabalhar. A professora que conduziu toda a estratégia de ensino tinha ampla experiência com abordagens de ensino baseadas em modelagem, além de ser a própria professora da turma. Os alunos também já estavam habituados a trabalhar em grupos e tiveram liberdade para escolher aquele do qual fizeram parte. Quanto à presença da filmadora, sabemos de sua provável influência sobre o comportamento dos investigados, mas não acreditamos que tal influência tenha comprometido, de maneira importante, a validade ecológica, uma vez que a propensão dos alunos para se distrair tende a diminuir com o tempo. Considerando que o processo ocorreu em várias aulas, os estudantes tenderiam a ficar habituados à presença da câmera (o que realmente foi observado). Segundo Cohen et al. (2000), o efeito causado pela presença de um observador é reduzido quando tal presença na situação em estudo é longa o suficiente para que se torne natural aos que são observados.

A utilização de diversos instrumentos de coleta de dados foi uma maneira de validação interna dos mesmos, uma vez que permitiu que estes fossem comparados, harmonizados ou colocados em oposição. Cohen et al. (2000) afirmam que simples observações podem produzir informações suficientes e claras em campos como medicina, química e física, mas fornecem uma visão apenas limitada da complexidade do comportamento humano e de situações em que os homens interagem. Os autores destacam, ainda, que a exclusiva dependência depositada em um só método pode

predispor ou distorcer a visão do pesquisador sobre a parte da realidade sob sua investigação.

METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS

Análise Inicial

A presente pesquisa tem caráter qualitativo, sendo importante destacar que temos consciência da subjetividade dos dados, e de que são necessários cuidados a fim de se minimizar o grau de viés que tal subjetividade pode acarretar. Os dados são descritivos e foram analisados indutivamente. Apesar de termos feito previsões, baseadas na literatura, sobre quais categorias poderiam surgir em nossa investigação, não buscamos adequar os dados a tais categorias. Ao contrário, enquanto alguns dados se identificaram com categorias previstas, novas categorias surgiram a partir dos dados. As asserções feitas a partir da análise dos dados, o foram sob uma perspectiva interpretativa, em que se buscou compreender os significados e intenções dos sujeitos da pesquisa.

A análise foi feita diretamente a partir dos dados coletados, tendo, por isso, sido necessário garantir a validade destes últimos. A triangulação dos dados foi feita com esse objetivo, tendo sido, para isso, utilizadas várias fontes de dados, de acordo com o planejamento e condução do processo do qual eles emergiram. Ainda no sentido de triangulação dos dados, estes foram analisados, em separado, por duas pessoas diferentes, a pesquisadora e sua orientadora, a fim de buscar interpretações adequadas dos mesmos. Eventuais desacordos foram discutidos, até que se atingisse uma conformidade em relação à interpretação dos dados. Nesse sentido, foi útil e necessária a existência de dados gravados em vídeo, o que nos permitiu rever as situações em que o material escrito e concreto foi produzido, a fim de elucidar dúvidas e dissipar divergências a respeito da interpretação dos dados. A análise do material filmado e as transcrições do mesmo foram feitas com o auxílio do programa *Videograph*®, que nos permitiu voltar aos pontos desejados da filmagem de maneira

rápida e direta, sempre que foi necessário. O citado programa facilitou, também, as transcrições de trechos de discussões entre os estudantes e das entrevistas, muitos deles presentes no estudo de caso e em sua análise, os quais serão apresentados mais adiante.

As categorizações utilizadas como suporte para a análise dos dados foram compiladas com base na literatura (Gilbert, 2008; Kozma & Russell, 2005) e tiveram a intenção de abordar os elementos envolvidos na capacidade de visualização, o que caracteriza tais elementos, os modos e convenções de representação utilizados em Química, e aqueles que são considerados importantes para a aprendizagem por parte de estudantes do ensino médio. Como mencionado anteriormente, nem todas as categorizações existiam na literatura em que nosso trabalho se fundamentou, tendo surgido a partir da necessidade de interpretar alguns dos dados coletados. Por exemplo, a categoria *capacidade de criar novas convenções de representação*, foi acrescentada a partir de uma ação espontânea de alguns estudantes, ao utilizar objetos de uso escolar (caneta, régua, borracha) a fim de facilitar a comunicação com os colegas. Outra categoria que emergiu é a que contempla a opinião dos estudantes sobre a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas. Essa necessidade surgiu diretamente do questionário pós-instrução, a que os estudantes foram submetidos, e que contemplava esse assunto.

São seis os elementos envolvidos na capacidade de visualização (ou competência representacional, ou *metavisualização*), conforme consideramos nesta pesquisa, a partir da literatura e da necessidade emergente dos dados coletados. Esses elementos abrangem as capacidades de:

- compreender as convenções de representação comumente utilizadas em Química, para todos os modos e submodos de representação envolvendo todas as três dimensões;
- traduzir um dado modelo entre os modos e submodos de representação nos quais ele pode ser apresentado;

- construir uma representação em qualquer modo ou submodo adequado a um determinado propósito;
- resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos;
- reconhecer a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas.
- criar novas convenções de representação.

As categorizações, criadas a partir dos elementos envolvidos na capacidade de visualização, e utilizadas nesta pesquisa para a análise dos dados, são apresentadas a seguir. A ordem em que tal apresentação será feita é a mesma em os elementos foram citados a pouco, sem que haja intenção, contudo, de sugerir qualquer tipo de relação hierárquica entre tais elementos.

O Quadro 3.1 apresenta os elementos envolvidos na *compreensão das convenções de representação* comumente utilizadas em Química, fundamentais à compreensão dessa ciência.

As categorias apresentadas no Quadro 3.1, bem como todas aquelas descritas neste trabalho, foram analisadas de acordo com o desempenho dos estudantes, em relação à manifestação de cada uma das capacidades. Tal desempenho foi considerado *total* (ou, em algumas situações, coerente), caso o estudante tenha demonstrado ser plenamente capaz no que se refere ao elemento considerado. Isto aconteceu quando, por exemplo, o aluno conseguiu utilizar uma tabela a fim de interpretar dados e identificar propriedades periódicas e sua relação com a formação de íons, ou quando ele foi coerente ao utilizar a fórmula NaCl, para descrever a proporção entre os íons do cloreto de sódio. Consideramos que o estudante teve desempenho *parcial* se ele apresentou algumas idéias corretas, tendo, porém, incorrido em algum tipo de incoerência. Por exemplo, ao se expressar verbalmente sobre a substância cloreto de sódio, ele declara (corretamente) que a ligação no sal é iônica, mas se refere às partículas presentes no sal como sendo *átomos* e não *íons*. Admitimos, ainda, a possibilidade de o estudante se mostrar incapaz de desempenhar alguma tarefa. Por

exemplo, ao analisar um modelo concreto do tipo bola-e-vareta, ele afirma que a vareta é a ligação, e não uma *representação* desta.

CAPACIDADE	DESCRIÇÃO DA CAPACIDADE	CATEGORIZAÇÕES
Utilizar palavras para identificar e analisar aspectos de uma representação	Relacionar aspectos de uma representação com os da entidade que ela representa (por exemplo, a natureza da vareta, num modelo bola-e-vareta), de forma oral ou escrita.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizou de forma coerente. • Utilizou de forma parcial. • Não conseguiu utilizar.
Utilizar palavras para identificar e analisar padrões de aspectos de uma representação	Relacionar padrões de aspectos de uma representação com propriedades da entidade que ela representa (por exemplo, relacionar dados de energia de ionização de elementos químicos com tendência a formar íons), de forma oral ou escrita.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizou de forma total. • Utilizou de forma parcial. • Não conseguiu utilizar.
Identificar e utilizar as convenções de representação	Identificar e utilizar as convenções de: <ul style="list-style-type: none"> • Representações tridimensionais (modo concreto) • Representações bidimensionais* (modo visual) • Representações simbólicas** (modo simbólico) • Representações verbais (modo verbal) • Representações gestuais (modo gestual) 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificou e utilizou de forma total ou coerente. • Identificou e utilizou de forma parcial. • Não conseguiu identificar e utilizar. • *Utilizou representações híbridas²¹. • **Fez interpretações literais de símbolos químicos²².
Criar novas convenções de representação	Criar, de maneira espontânea, convenções de representação diferentes daquelas utilizadas na Química (por exemplo, utilizar objetos de uso cotidiano, como materiais escolares, para representar entidades submicroscópicas).	<ul style="list-style-type: none"> • Criou novas convenções de representação. • Não criou novas convenções de representação.

²¹Ao desenhar as entidades presentes em um sistema, o estudante utiliza representações dos níveis macroscópico e submicroscópico.

²² Por exemplo, ao interpretar a fórmula de um composto iônico como o cloreto de sódio, o estudante acredita que a mesma indica pares de íons, e não a proporção entre os íons no retículo cristalino.

Quadro 3.1. Compreensão das convenções de representação comumente utilizadas na Química, para todos os modos e submodos de representação envolvendo todas as três dimensões.

Ainda em relação ao Quadro 3.1, é importante destacar informações referentes especificamente às convenções de representação. A fim de explicitar o que está envolvido em cada um dos modos de representação, estes serão detalhados em seus submodos, a seguir.

- Representações tridimensionais (modo concreto): feitas de material manipulável, por exemplo, bola-e-vareta.
- Representações bidimensionais (modo visual): gráficos, diagramas, desenhos, e tabelas.
- Representações simbólicas (modo simbólico): símbolos, fórmulas e equações químicas e expressões matemáticas.
- Representações verbais (modo verbal): descrições das entidades e das relações entre elas em uma representação (por exemplo, da natureza das bolas e das varetas num modelo bola-e-vareta) e exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia (por exemplo, “ligação covalente envolve o *compartilhamento* de elétrons”). Podem ser orais ou escritas.
- Representações gestuais (modo gestual): utilização de movimentos do corpo ou partes dele (por exemplo, afastar uma mão da outra, a fim de representar a quebra de ligação química).

O segundo elemento envolvido na capacidade de visualização, considerado neste trabalho, consiste em conseguir *traduzir um dado modelo entre os modos e submodos de representação*. No Quadro 3.2, apresentamos a descrição do que consideramos, nesta pesquisa, como a capacidade de tradução de uma representação para outras, de acordo com a literatura. Os diversos modos (e submodos) entre os quais a tradução pode ocorrer serão especificados em seguida.

CAPACIDADE	DESCRIÇÃO DA CAPACIDADE	CATEGORIZAÇÕES
<p>Descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e explicar como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser dito com outra representação</p>	<p>Ao se deparar com representações diferentes para uma mesma entidade (por exemplo, duas ilustrações para a estrutura do fulereno, sendo que uma delas explicita os átomos de carbono, enquanto a outra explicita as ligações entre os átomos), conseguir identificar que aspectos da entidade são comuns às representações e que aspectos estão presentes em apenas uma delas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Descreveu e explicou de forma coerente. • Descreveu e explicou de forma parcial. • Não conseguiu descrever e explicar.
<p>Fazer conexões entre diferentes representações, para mapear aspectos de um tipo de representação naqueles de outro e explicar a relação entre eles</p>	<p>Ao se deparar com representações diferentes para uma mesma entidade (por exemplo, um desenho e um modelo concreto para os íons presentes no cloreto de sódio), conseguir fazer conexões entre as representações, identificando aspectos comuns, e explicar a relação entre eles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fez a conexão e explicou a relação de forma coerente. • Fez a conexão e explicou a relação de forma parcial²³. • Não conseguiu fazer a conexão e explicar.
<p>Traduzir os modos e submodos de representação</p>	<p>Conseguir traduzir um determinado modelo entre os modos e submodos em que ele pode ser representado (por exemplo, descrever o significado da fórmula NaCl, fazendo assim a tradução do modo simbólico para o modo verbal).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Traduziu um determinado modelo de um modo (ou submodo) para outro(s). • Não conseguiu traduzir um determinado modelo de um modo (ou submodo) para outro(s).

²³ Esta categoria inclui situações em que o estudante fez conexões entre diferentes representações, mas, por algum motivo, não mapeou aspectos de um tipo de representação naqueles de outro e não explicou a relação entre eles.

Quadro 3.2. Capacidade de traduzir um dado modelo entre os modos e submodos nos quais ele pode ser apresentado.

A tradução pode ocorrer dos modos:

1. Tridimensionais para bidimensionais (e vice-versa):
 - 1.1. feitas de material manipulável para gráficos;
 - 1.2. feitas de material manipulável para diagramas;
 - 1.3. feitas de material manipulável para desenhos;
 - 1.4. feitas de material manipulável para tabelas.
2. Tridimensionais para simbólicas (e vice-versa):
 - 2.1. feitas de material manipulável para símbolos químicos;
 - 2.2. feitas de material manipulável para fórmulas químicas;
 - 2.3. feitas de material manipulável para equações químicas;
 - 2.4. feitas de material manipulável para expressões matemáticas.
3. Tridimensionais para verbais (e vice-versa):
 - 3.1. feitas de material manipulável para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
 - 3.2. feitas de material manipulável para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;
 - 3.3. feitas de material manipulável para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;
 - 3.4. feitas de material manipulável para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita.
4. Tridimensionais para gestuais (e vice-versa):

- 4.1. feitas de material manipulável para utilização de movimentos do corpo ou partes dele.
5. Bidimensionais para simbólicas (e vice-versa):
 - 5.1. gráficos para símbolos químicos;
 - 5.2. gráficos para fórmulas químicas;
 - 5.3. gráficos para equações químicas;
 - 5.4. gráficos para expressões matemáticas;
 - 5.5. diagramas para símbolos químicos;
 - 5.6. diagramas para fórmulas químicas;
 - 5.7. diagramas para equações químicas;
 - 5.8. diagramas para expressões matemáticas;
 - 5.9. desenhos para símbolos químicos;
 - 5.10. desenhos para fórmulas químicas;
 - 5.11. desenhos para equações químicas;
 - 5.12. desenhos para expressões matemáticas;
 - 5.13. tabelas para símbolos químicos;
 - 5.14. tabelas para fórmulas químicas;
 - 5.15. tabelas para equações químicas;
 - 5.16. tabelas para expressões matemáticas.
 6. Bidimensionais para verbais (e vice-versa):
 - 6.1. gráficos para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
 - 6.2. gráficos para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;

- 6.3. gráficos para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;
- 6.4. gráficos para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita;
- 6.5. diagramas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
- 6.6. diagramas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;
- 6.7. diagramas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;
- 6.8. diagramas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita;
- 6.9. desenhos para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
- 6.10. desenhos para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;
- 6.11. desenhos para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;
- 6.12. desenhos para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita;
- 6.13. tabelas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
- 6.14. tabelas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;
- 6.15. tabelas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;

- 6.16. tabelas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita.
7. Bidimensionais para gestuais (e vice-versa):
 - 7.1. gráficos para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;
 - 7.2. diagramas para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;
 - 7.3. desenhos para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;
 - 7.4. tabelas para utilização de movimentos do corpo ou partes dele.
 8. Simbólicas para verbais (e vice-versa):
 - 8.1. símbolos químicos para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
 - 8.2. símbolos químicos para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;
 - 8.3. símbolos químicos para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;
 - 8.4. símbolos químicos para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita;
 - 8.5. fórmulas químicas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
 - 8.6. fórmulas químicas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;
 - 8.7. fórmulas químicas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;
 - 8.8. fórmulas químicas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita;

- 8.9. equações químicas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
 - 8.10. equações químicas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;
 - 8.11. equações químicas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;
 - 8.12. equações químicas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita;
 - 8.13. expressões matemáticas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral;
 - 8.14. expressões matemáticas para descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita;
 - 8.15. expressões matemáticas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral;
 - 8.16. expressões matemáticas para exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita.
9. Simbólicas para gestuais (e vice-versa):
- 9.1. símbolos químicos para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;
 - 9.2. fórmulas químicas para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;
 - 9.3. equações químicas para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;
 - 9.4. expressões matemáticas para utilização de movimentos do corpo ou partes dele.
10. Verbais para gestuais (e vice-versa):
- 10.1. descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma oral para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;

- 10.2. descrição das entidades e das relações entre elas em uma representação, de forma escrita para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;
- 10.3. exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma oral para utilização de movimentos do corpo ou partes dele;
- 10.4. exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia, de forma escrita para utilização de movimentos do corpo ou partes dele.

Um exemplo de tradução entre representações é a construção de um modelo tridimensional do tipo bola-e-vareta, a partir de um desenho (modo bidimensional) para o retículo cristalino de uma substância iônica. Outro exemplo é, a partir de um desenho que representa uma estrutura cristalina, escrever a fórmula química da substância (modo simbólico). Pode-se considerar, ainda, a possibilidade de tradução entre representações pertencentes a um mesmo modo. Por exemplo, a consideração de uma tabela (modo bidimensional) em que dados experimentais são apresentados, a fim de elaborar um gráfico (modo bidimensional).

A capacidade de *construir uma representação* em qualquer modo ou submodo adequado a um dado propósito, terceiro elemento aqui considerado, e suas categorizações se encontram no Quadro 3.3.

CAPACIDADE	DESCRIÇÃO DA CAPACIDADE	CATEGORIZAÇÕES
Construir uma representação em qualquer modo ou submodo adequado a um dado propósito.	Gerar ou selecionar uma representação e explicar por que ela é apropriada para tal propósito (por exemplo, elaborar um modelo concreto para o cloreto de sódio, e utilizar esse modelo para justificar a condutibilidade elétrica de uma solução aquosa dessa substância).	<ul style="list-style-type: none"> • Gerou ou selecionou uma representação e explicou por que ela é apropriada de forma coerente. • Gerou ou selecionou uma representação e explicou por que ela é apropriada de forma parcial. • Não conseguiu gerar ou selecionar uma representação. • Gerou ou selecionou uma representação, mas não explicou por que ela é apropriada.

Quadro 3.3. Capacidade de construir uma representação em qualquer modo ou submodo adequado a um determinado propósito.

Um exemplo de situação em que uma representação foi gerada, explicando por que ela é apropriada, de forma coerente, é um desenho representando o nível submicroscópico, em que o aluno justifica a condutibilidade do cloreto de sódio em água, por meio de legendas ou de uma explicação verbal. Caso este desenho seja acompanhado por uma explicação inconsistente ou incoerente, consideramos um desempenho parcial por parte do estudante. Foi considerada, ainda, a possibilidade de o aluno não conseguir representar o fenômeno ou de conseguir fazê-lo, mas não apresentar explicação acerca da representação gerada.

Com relação à capacidade de *resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos*, foram criadas as categorizações apresentadas no Quadro 3.4.

CAPACIDADE	DESCRIÇÃO DA CAPACIDADE	CATEGORIZAÇÕES
Resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos.	Apresentar modelos explicativos para novas situações que se apresentem (por exemplo, explicar a maior estabilidade de uma substância em relação aos reagentes que lhe deram origem).	<ul style="list-style-type: none">• Resolveu um novo problema, utilizando modelos de forma coerente.• Resolveu um novo problema, utilizando modelos de forma parcial.• Não conseguiu resolver um novo problema, utilizando modelos.

Quadro 3.4. Capacidade de resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos.

Segundo Polya (1957 *apud* Gilbert, 2008), isto poderia ser feito por meio da elaboração de uma analogia com um problema já resolvido. Por exemplo, ao considerar que, na reação de combustão de uma fita de magnésio metálico, o sistema final (óxido de magnésio, produto da combustão) é mais estável e possui menor conteúdo energético do que o sistema inicial (magnésio metálico e gás oxigênio, reagentes), o aluno consegue explicar a maior estabilidade da substância cloreto de sódio em relação ao sódio metálico e cloro gasoso (seus constituintes iniciais). Outra

maneira de resolver um novo problema com a utilização de modelos seria remover, de uma representação conhecida, informações irrelevantes ao referido problema (Beveridge e Parkins, 1987 *apud* Gilbert, 2008). Por exemplo, perceber o fato de que há liberação de intensa luz durante a queima do magnésio, o que não ocorre na formação do cloreto de sódio a partir da reação entre sódio metálico e oxigênio, não invalida a noção de que, na última reação, o produto é mais estável do que os reagentes.

Finalmente, o Quadro 3.5 descreve as categorizações relacionadas ao último dos elementos envolvidos na capacidade de visualização, *reconhecer a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas*.

CAPACIDADE	DESCRIÇÃO DA CAPACIDADE	CATEGORIZAÇÕES
Reconhecer a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas.	Reconhecer que a utilização de modelos é inerente a e fundamental para a atividade científica, sendo, portanto, de vital importância o domínio das convenções de representação comumente utilizadas na ciência, mais especificamente, aqui, na Química.	<ul style="list-style-type: none"> • Reconheceu a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas de forma total. • Reconheceu a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas de forma parcial. • Não conseguiu reconhecer a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas.

Quadro 3.5. Capacidade de reconhecer a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas.

Por exemplo, reconhecer que modelos como os da estrutura do DNA (dupla hélice) e do fulereno (domo geodésico) são não apenas *produtos* da elaboração das idéias dos cientistas, mas também ferramentas de pesquisa (van der Valk, van Driel, & de Vos, 2007) utilizadas para se obter informações sobre o alvo (entidade que se pretende modelar), a partir de algo mais familiar. Em outras palavras, reconhecer que

os modelos exercem importante papel *durante* a elaboração das idéias. Além disso, consideramos a capacidade de reconhecer o papel facilitador dos modelos na comunicação dessas idéias no meio científico (entre pares) e não científico (para a sociedade).

Elaboração de Estudo de Caso

A partir da análise inicial dos dados, na qual tentamos aplicar as categorias diretamente nas transcrições, decidimos escrever e analisar estudos de caso para cada um dos grupos. Tal opção foi feita porque, no estudo de caso, os dados oriundos das transcrições das aulas e do material escrito dos alunos seriam integrados, o que favoreceria uma análise mais precisa.

Considerando o imenso volume de dados obtidos em todos os estudos de caso, optamos também por apresentar e analisar, nesta Dissertação, apenas o estudo de caso de um dos grupos (que chamaremos de grupo 1). Como especificado anteriormente, o grupo era constituído de seis estudantes (A1G1, A2G1, A3G1, A4G1, A5G1 e A6G1). Os detalhes que melhor caracterizam o grupo e seus componentes serão descritos no estudo de caso, no capítulo 4. O citado grupo foi o selecionado, em primeiro lugar porque, em relação à turma, representou, de maneira significativa, o processo vivenciado pelos outros grupos. Segundo Cohen et al. (2000), os dados selecionados precisam ser representativos da amostra, do conjunto total de dados, do campo, enfim, precisam contemplar conteúdo, construtos e validade. Em segundo lugar, foi o grupo que teve maior número de dados gravados em áudio e vídeo, em função da limitação desse instrumento (o fato de haver apenas uma filmadora durante as aulas). Em terceiro lugar, foi um dos grupos que, durante as aulas em que ocorreram discussões gerais, mais participou das mesmas, interferindo na apresentação dos modelos de outros estudantes, tecendo considerações sobre esses modelos e questionando sobre os elementos presentes nas idéias apresentadas pelos colegas de outros grupos.

O estudo de caso foi lido pela professora, de maneira a garantir a fidelidade em relação ao que ela havia observado no desenvolvimento das atividades. Os momentos em que os eventos descritos não estavam de acordo com a percepção da professora foram discutidos com ela, de maneira a esclarecer dúvidas e se alcançar uma concordância.

Análise das entrevistas

O Anexo 1 apresenta os protocolos parciais, contendo o roteiro básico das entrevistas que serviram como guia para a entrevistadora, muito embora tais protocolos não tenham sido rigidamente seguidos, devido ao caráter semi-estruturado das entrevistas. Tais protocolos são parciais, pois apresentam apenas as questões que se referiam ao presente trabalho. Elas contemplavam, especificamente, aspectos relacionados à visualização e compreensão das representações, tendo sido elaboradas com o objetivo de investigar o foco das questões desta pesquisa. Tais perguntas foram elaboradas a partir, principalmente, das respostas dos estudantes ao Questionário pós-instrução, por ter sido este o instrumento no qual os estudantes trabalharam individualmente. Além disso, alguns questionamentos feitos pela entrevistadora, com o intento de investigar o processo de modelagem (na busca de responder suas próprias questões de pesquisa), trouxeram à tona questões que acreditamos estarem relacionadas ao tema desta pesquisa, ou seja, visualização. Momentos em que isto ocorreu foram destacados. As entrevistas foram integralmente transcritas, a partir das filmagens, a fim de facilitar sua análise.

A partir da interpretação das respostas dos alunos, foi feita a relação das mesmas com os elementos envolvidos na capacidade de visualização considerados neste trabalho.

Os alunos entrevistados foram escolhidos com base em suas atividades escritas, a fim de elucidar idéias e possíveis incoerências. A participação nas aulas também determinou a escolha dos estudantes, sendo o propósito das entrevistas, também nesse caso, esclarecer dúvidas a respeito do processo de elaboração dos modelos,

dando a oportunidade aos alunos de acrescentar informações e de esclarecê-las. Como referido anteriormente, as entrevistas não foram conduzidas e filmadas por esta pesquisadora, mas sim por outra (PFM), a qual tinha o objetivo de coletar dados para sua própria pesquisa, na mesma turma. A importância de tal informação se deve ao fato de que a escolha dos estudantes também levou em conta a demanda da citada pesquisadora. Por isso, e ainda pela impossibilidade de entrevistar todos os estudantes, a amostra entrevistada contou com apenas alguns estudantes de cada um dos seis grupos. Portanto, a escolha dos alunos para as entrevistas se baseou em indicações desta pesquisadora, da entrevistadora, e na disponibilidade e compatibilidade de horário dos estudantes, uma vez que tais entrevistas ocorreram fora da sala de aula, em momentos diversos do período escolar.

Decidimos incluir, na análise, as entrevistas de todos os estudantes entrevistados. O motivo pelo qual assim o fizemos foi o fato de que apenas três dos entrevistados pertenciam ao grupo 1. Além disso, acreditamos que, ao incluirmos entrevistas de alunos dos outros grupos, podemos dar suporte à afirmação de que o grupo 1 é representativo, no que se refere ao processo vivenciado pela turma.

Análise final

Finalmente, a análise conjunta do estudo de caso e das entrevistas subsidiou a discussão das questões de pesquisa deste trabalho. Tal discussão ocorreu à luz da identificação dos elementos do processo de ensino que favoreceram o desenvolvimento das capacidades de visualização definidas neste trabalho.

ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA – PLANEJAMENTO DA ESTRATÉGIA DE ENSINO E DESCRIÇÃO GERAL DAS AULAS

O desenvolvimento da estratégia de ensino de ligação iônica (Mendonça & Justi, in print), que será considerada neste trabalho, se fundamentou no trabalho de Justi e

Gilbert (2002a), e em seu diagrama Modelo de Modelagem, descrito anteriormente (figura 2.5).

As atividades consideradas nesta pesquisa, que serão descritas a seguir, dizem respeito ao ensino de ligação iônica para alunos que terão o primeiro contato formal com esse tema. Essa estratégia de ensino fundamentada em modelagem visa promover situações que levem os alunos a ser capazes de: (i) compreender os principais aspectos sobre modelos; (ii) entender o papel de modelos no processo de elaboração do conhecimento científico; (iii) entender como ocorre a ligação química em termos gerais, relacionando abaixamento de energia e estabilidade; (iv) compreender a ligação iônica, por meio da elaboração de um modelo para a formação da substância NaCl; (v) associar a quebra de ligações à absorção de energia; (vi) desenvolver a noção de força das interações associada à magnitude das temperaturas de fusão e ebulição; (vii) compreender a relação entre a ligação iônica e as propriedades dos materiais.

Contexto de Realização das Atividades

Os alunos considerados nesta pesquisa participaram de atividades de modelagem em algumas estratégias de ensino de ligações químicas (iônica, covalente, interações intermoleculares).

Selecionamos o tema ligação iônica (e sua respectiva estratégia de ensino) por ter sido aquele que apresentou maior índice de ocorrências que se relacionam ao tema visualização, que se pretende investigar na presente pesquisa. Conforme discutido anteriormente, a aprendizagem de ligação iônica envolve uma considerável necessidade de abstração por parte dos estudantes, requerendo que os mesmos elaborem imagens mentais para entidades abstratas e para as relações entre elas. Além disso, os alunos precisam compreender várias convenções de representação comumente utilizadas em Química, para todos os modos e submodos de representação envolvendo as três dimensões. Reconhecemos que representações também desempenham papel vital na compreensão dos outros tipos de ligação

química, de outros conceitos químicos e ainda de conceitos inerentes a outras ciências. No entanto, dentre as estratégias para o ensino de ligações químicas aplicadas à amostra aqui considerada, a que diz respeito à ligação iônica se mostrou mais adequada a este estudo, pelo fato de ter apresentado situações que contemplam vários elementos relacionados à capacidade de visualização.

Como anteriormente mencionado, a estratégia de ensino de ligação iônica descrita no presente trabalho envolve atividades de modelagem, as quais acreditamos ter o potencial para ajudar os estudantes a aprender o tema. Aplicações anteriores de tal estratégia de ensino, como a descrita em Mendonça e Justi (2009b), confirmam a vantagem desse tipo de atividade, no ensino de ligação iônica. As autoras descrevem os resultados dos estudantes como tendo sido positivos, no que diz respeito à aprendizagem de conteúdo. Considerando as dificuldades e concepções alternativas mais comumente apresentadas pelos alunos durante a aprendizagem de ligação iônica, consideramos que a estratégia, cujas atividades serão descritas a seguir, se mostra uma alternativa interessante para o ensino desse tema.

Atividade1: Modelos

Nessa atividade (Anexo 2), realizada individualmente, os alunos analisaram alguns sistemas, a fim de decidir quais deles poderiam ser considerados modelos. Tal atividade teve como objetivo detectar as concepções alternativas apresentadas pelos estudantes, ao classificar como modelos ou não, os sistemas apresentados. Como cada classificação deveria incluir uma explicação que a justificasse, a Atividade 1 tornou possível o acesso às idéias dos alunos sobre o que são e para que servem os modelos. Considerando que todo o processo vivenciado pela turma durante o ensino de ligação iônica se baseou em modelos e modelagem, essa atividade foi fundamental e, a partir das respostas dos alunos, a professora verificou várias concepções errôneas como, por exemplo, a idéia de que modelos *são* a realidade e não uma *representação* desta. Um dos itens permitiu verificar, ainda, a idéia, bastante comum, de que modelos são réplicas, em miniatura, da realidade. A discussão que se seguiu à atividade, conduzida

pela professora, foi bastante rica e permitiu que se chegasse a um consenso sobre o conceito de modelos, em geral.

Os dados obtidos na Atividade 1 não foram utilizados nesta pesquisa pois, a despeito de sua importância para a estratégia de ensino desenvolvida nas aulas, não se referem diretamente à visualização, tema que nos propusemos a estudar.

Atividade 2: “Por que esta cola cola?”

A segunda atividade (Anexo 3) foi realizada em grupo. Nela, os alunos foram envolvidos em um processo de construção de um modelo com o objetivo de explicar uma situação que lhes foi proposta. Nesse sentido, a Atividade 2 se relacionou com a segunda questão proposta por este trabalho: “Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão do papel de representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico?”. Acreditamos que, ao analisar as respostas dos estudantes à questão, teríamos a oportunidade de verificar como estes se imaginariam no papel de cientistas buscando resolver um novo problema, tendo, para tal, que lançar mão de representações (uma vez que a questão solicitava um modelo em nível submicroscópico, como descrito a seguir).

A atividade partiu da proposição de uma situação fictícia em que uma nova cola para papel e madeira havia sido desenvolvida. A suposta cola seria mais eficiente do que as colas comuns e sua secagem seria instantânea. A questão apresentada aos alunos foi: “Por que esta cola cola?”.

Na primeira questão, solicitou-se que os grupos elaborassem um modelo (em nível submicroscópico) para explicar como a citada cola funciona. Os grupos deveriam registrar seu modelo por meio de desenhos e/ou verbalmente. O intuito da questão era verificar a capacidade de utilizar desenhos e explicar as entidades e relações entre elas, nessa representação. Em outras palavras, esperava-se verificar se os alunos conseguiriam utilizar desenhos de forma total, isto é, fazendo-se compreender por meio de legendas ou verbalmente, ao explicar o funcionamento da cola.

Na segunda questão, os alunos deveriam descrever, minuciosamente, os passos seguidos pelo grupo a fim de propor uma solução para o problema. Para isso, eles deveriam preencher um quadro, descrevendo, etapa por etapa, o que fizeram e apresentando justificativas para cada uma dessas etapas. A seguir, deveriam numerar a primeira coluna, indicando a ordem em que as ações descritas no quadro foram realizadas. Os alunos poderiam enumerar quantas etapas desejassem, podendo, caso considerassem necessário, acrescentar linhas ao quadro.

Atividade 3: Formação do óxido de magnésio

A Atividade 3 (Anexo 4) apresentava uma situação com o intuito de levar os alunos a associar a formação de uma substância ao abaixamento de energia do sistema.

Considerando-se a primeira questão desta pesquisa (“Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão dos modos e convenções de representação utilizados em química?”), a Atividade 3 apresentou uma oportunidade de verificar a capacidade dos alunos de identificar e utilizar representações simbólicas. Isto foi possível porque a professora utilizou, na discussão inicial, fórmulas e equações químicas para representar a formação do óxido de magnésio e estas representações apareceram nas respostas que os estudantes forneceram na atividade.

Inicialmente, a atividade propunha uma reflexão sobre as transformações químicas que ocorrem a nossa volta, a partir de rearranjos em que substâncias são transformadas em outras. Solicitou-se que os alunos refletissem sobre os fatores que determinam a formação de algumas substâncias e a impossibilidade de outras serem formadas. A professora conduziu essa reflexão inicial questionando o fato de que algumas substâncias são naturalmente encontradas, enquanto outras não o são.

Feita a reflexão inicial, a professora utilizou uma chama para aquecer um pedaço de fita de magnésio, metal acinzentado. A energia fornecida pelo aquecimento provocou a reação de combustão que produziu óxido de magnésio, um pó branco e muito fino, com simultânea liberação de intensa luz. Solicitou-se, então, que os alunos

anotassem, na tabela constante da atividade, as observações sobre o aspecto do sistema durante e após o experimento. As instruções presentes na Atividade 3 deixavam explícito que o sólido branco obtido era óxido de magnésio. Em seguida, a professora levou o óxido de magnésio, produto da reação da combustão, à chama durante quase um minuto, ao fim do qual pediu que os alunos novamente fizessem anotações na tabela, sobre o que haviam observado durante e após o aquecimento daquele material. Ao se aquecer o óxido de magnésio, não se observa nenhuma evidência de transformação.

Uma vez terminado o experimento, os alunos responderam, por escrito, questões sobre o fenômeno observado. Os alunos já haviam estudado reações químicas e conceitos de cinética química na primeira série do ensino médio. As perguntas tinham o intuito principal de chamar a atenção para o que era importante notar no e refletir sobre o fenômeno considerado. A partir das respostas, a professora pôde conduzir discussões a fim de levar a turma ao reconhecimento de que a formação de uma substância se dá quando ocorre abaixamento do conteúdo energético. Foi importante, inclusive, que a professora chamasse a atenção para o fato de que esse “saldo energético” se dá em função de a quebra de ligação envolver absorção de energia e a formação de ligação envolver liberação de energia. Esperava-se que, ao final da atividade e das discussões por ela suscitadas, os alunos compreendessem que, para que uma substância exista, é necessário que ela seja energeticamente mais estável (associe-se a um menor conteúdo energético) do que as que lhe deram origem.

A primeira questão perguntava o que o aparecimento da luz observada quando do aquecimento do magnésio indicava. Esperava-se que os alunos associassem a luz à energia liberada durante a reação e que os mesmos percebessem que a energia liberada era maior do que aquela fornecida pela chama (pois a luz liberada foi mais intensa do que a da chama). Essa associação forneceria subsídios para a discussão sobre a energia inicial e final do sistema. O objetivo era que, a partir da discussão, os alunos compreendessem que parte da energia emitida estava contida no sistema

original (reagentes magnésio metálico e oxigênio gasoso), uma vez que a energia liberada foi maior do que a absorvida.

A segunda questão solicitava que os alunos explicassem a formação do óxido de magnésio. Buscava-se verificar se eles seriam capazes de associar o abaixamento de energia à formação do produto. Para tal, eles deveriam se basear no fato de que, se a energia liberada foi maior do que a fornecida, o sistema final (óxido de magnésio) deveria apresentar conteúdo energético menor do que o sistema inicial (magnésio metálico e gás oxigênio). Outro aspecto a ser abordado era que o óxido de magnésio não sofreu modificação ao ser submetido ao aquecimento, o que deveria ser interpretado como evidência de sua estabilidade.

Na terceira questão, perguntava-se por que o fogo é necessário para a ocorrência da transformação de magnésio em óxido de magnésio. Como os alunos já tinham conhecimento do conceito de energia de ativação, não consideramos a questão muito complexa para eles. A reflexão sobre o papel do fogo no fenômeno observado foi importante para que, na discussão, eles pudessem chegar à conclusão de que, nas reações químicas, ligações são rompidas para que ocorram rearranjos, com formação de novas ligações. Esperava-se, então, que os alunos compreendessem que a energia fornecida pelo fogo é necessária para o rompimento das ligações.

A quarta questão era relacionada à terceira, pois também envolvia o conceito de absorção de energia para que uma reação aconteça (para que se rompam ligações nas substâncias reagentes). Essa questão solicitava que os alunos explicassem como a transformação de magnésio em óxido de magnésio pode ocorrer em *flashes* descartáveis de máquinas fotográficas, na ausência de fogo. O esperado era que os estudantes fossem capazes de perceber que, no caso, as pilhas ou baterias exerceriam o mesmo papel da chama no experimento, ou seja, fornecer energia para o rompimento de ligações químicas. Consideramos que a resposta dos alunos a essa questão decorreria da resposta que eles tivessem fornecido na terceira questão e que, conseqüentemente, necessitaria da discussão sobre energia e rompimento de ligações.

A quinta e última questão solicitava que os alunos revissem as observações anotadas na tabela e comparassem a estabilidade dos dois sistemas (magnésio e óxido de magnésio). Como o magnésio sofre reação ao ser aquecido (na verdade, queimado) e o óxido de magnésio não se altera com o aquecimento (não sofre combustão), o último é mais estável do que o primeiro, o que, após a discussão da atividade, pretendia-se que os alunos associassem a um abaixamento de energia. O experimento com a fita de magnésio e as questões, descritos acima, constituíram a Parte A da atividade.

Na Parte B da Atividade 3, inicialmente fazia-se uma reflexão sobre a ocorrência dos elementos na natureza, isto é, sobre eles poderem ser encontrados de diversas formas. Citou-se o exemplo do elemento oxigênio que, além de ser encontrado nas substâncias simples oxigênio, $O_2(g)$, e ozônio, $O_3(g)$, também constitui um imenso número de substâncias compostas, como por exemplo, a água.

Em seguida, na primeira questão, solicitava-se que os alunos respondessem em que forma (mistura, substância simples, substância composta) os metais ouro e ferro se encontram na natureza.

Na questão seguinte, solicitava-se que eles respondessem se achavam que esses materiais, ferro e ouro, seriam encontrados na Lua ou em outro planeta, sob a mesma forma que o são na Terra. Os alunos deveriam indicar, também, os fatores que influenciam na forma como um material é encontrado.

A Parte C se iniciava com um experimento, feito pelos alunos, conhecido como *garrafa mágica*²⁴. Os alunos deveriam segurar a garrafa em uma das mãos, agitá-la por alguns segundos e anotar o observado. Depois, a garrafa deveria permanecer em repouso, para que se observasse o que aconteceria e fossem feitas anotações. A

²⁴ Um sistema contendo uma solução de hidróxido de sódio, dextrose e azul de metileno. A cor do sistema muda quando ele é agitado e quando ele permanece em repouso.

seguir, foram feitas quatro perguntas. Primeiro, perguntou-se se os alunos achavam que no sistema havia mais de uma substância e por que. A seguir, perguntou-se se eles achavam que no sistema ocorria uma reação química, solicitando-se também uma explicação. A terceira questão perguntava como os alunos poderiam relacionar o fenômeno ocorrido na *garrafa mágica* com o fenômeno ocorrido na Parte A da experiência (queima da fita de magnésio), indicando as semelhanças e as diferenças entre eles. Finalmente, solicitava-se que os alunos relacionassem a energia envolvida em um sistema com a formação de substâncias naquele sistema, com base no que havia sido discutido na experiência com a garrafa.

Considerando-se os objetivos deste trabalho, utilizamos apenas os dados da segunda questão da Parte A. Esta escolha se baseou no fato de que as respostas dos alunos à questão apresentaram elementos de visualização que acreditamos, neste trabalho, ser relevantes, como a utilização de representações simbólicas, fórmulas e equações químicas, bem como a transferência destas para o modo verbal.

Ao final da discussão das questões, a professora mostrou, com auxílio de um retroprojetor e do livro didático, o gráfico que representa a relação entre energia, em kcal/mol, e distância internuclear, em picômetros, conhecido como *poço potencial* (Figura 3.2). A professora destacou, com a participação dos alunos, que, ao se aproximarem os íons, há forças de atração e repulsão envolvidas, devido às cargas (dos prótons e elétrons) presentes nos mesmos. Ela chamou a atenção para o fato de o gráfico mostrar que a energia do sistema diminui à medida que os íons se aproximam. Mostrou, ainda, no gráfico, a contribuição das forças de atração para o abaixamento de energia e, em contrapartida, como as forças de repulsão contribuem para o aumento de energia. Comparou o gráfico apresentado na tela (que mostrava, em pontilhado, as curvas que retratam as forças de atração e de repulsão, bem como a curva resultante – figura 3.2A) com aquele presente no livro didático, que mostrava somente a curva resultante. A professora indicou, ainda, o ponto do gráfico que representa da formação da ligação química, associando-o ao equilíbrio das forças envolvidas (atração e repulsão), destacando que este ponto corresponde à situação de

menor energia do sistema, a qual pode ser considerada a energia da ligação. Quanto à distância internuclear correspondente a esse ponto, a professora concluiu que ela pode ser considerada como o comprimento da ligação.

A professora também explicou outro gráfico (figura 3.2B), que mostrava as curvas teóricas (*a-d, f*) para a molécula de hidrogênio comparadas com a curva empírica (*e*). Ela enfatizou que as curvas teóricas representavam as forças de atração e de repulsão entre os átomos, e que tinham o propósito de se aproximar o mais possível do valor experimental, isto é, eram *modelos* propostos para explicar o valor experimental da energia liberada na formação de um mol de moléculas de H₂. Ela perguntou aos alunos qual das curvas teóricas seria o melhor modelo no caso da molécula de H₂, ao que eles responderam que seria a curva *d*. A professora concordou, enfatizando que essa era a curva que mais se aproximava do valor experimental (representado pela curva *e*). Em seguida, ela pediu que os alunos observassem a curva *f*, e que indicassem que tipos de forças foram levadas em consideração nessa representação. Os estudantes responderam que somente forças de repulsão estavam envolvidas. A professora mostrou no gráfico que, partindo-se da curva *a* em direção às curvas *b, c* e *d*, houve uma aproximação gradativa do valor expresso pela curva *e*, o que indicava contribuições negativas de energia cada vez maiores.

É importante destacar que a professora relacionou o gráfico estudado para o hidrogênio com a formação de todos os tipos de ligação química, chamando a atenção para o fato de que este gráfico poderia representar a formação de uma ligação como a que ocorre no óxido de magnésio, cuja formação os alunos haviam acabado de presenciar (ver figura 3.2A).

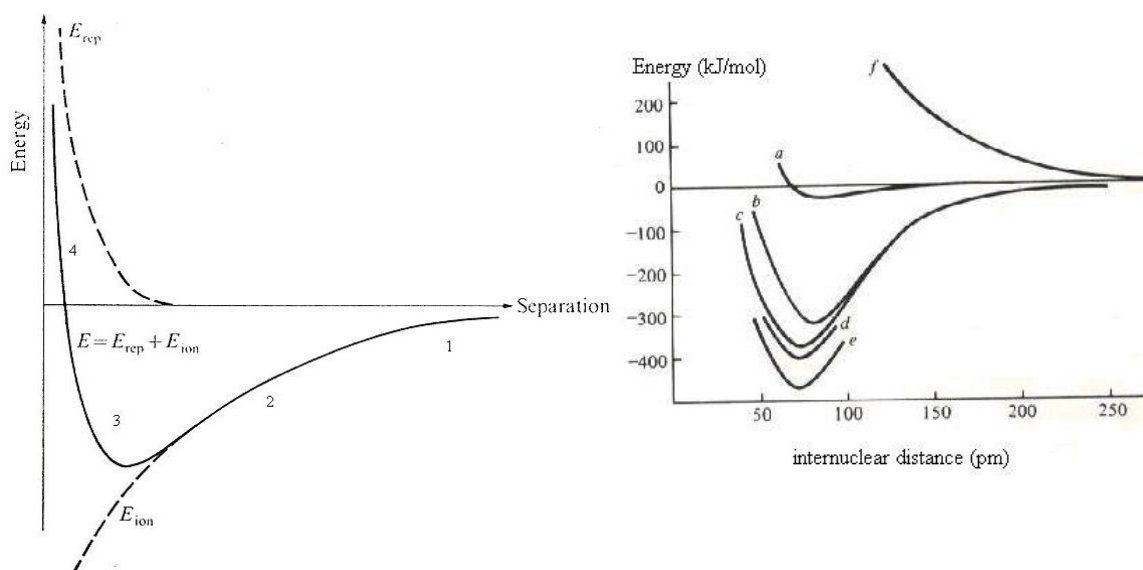


Gráfico A

Gráfico B

Figura 3.2. Gráfico A: Curva de energia potencial para um par iônico. Gráfico B: Curvas teóricas ($a-d$, f) para a molécula de hidrogênio, comparadas com a curva empírica (e).

Consideramos que a análise do gráfico *poço potencial* foi um momento rico para a presente pesquisa porque relacionou a Atividade 3 (que contemplou a utilização de fórmulas e equações químicas, que são representações simbólicas) com uma representação bidimensional (modo visual). Embora a discussão do gráfico tenha sido conduzida pela professora, a participação dos alunos, sempre que solicitada e mesmo quando não, indicou que eles compreenderam a relação entre o fenômeno observado (queima do magnésio), estabilidade e abaixamento de energia na formação da substância óxido de magnésio e o gráfico que representa esse abaixamento.

Atividade 4: Formação do cloreto de sódio a partir das substâncias simples (Na(s) e Cl₂(g))

A Atividade 4 (Anexo 5) consistia na elaboração de um modelo que explicasse a formação dos íons Na⁺ e Cl⁻, a partir das substâncias simples Na(s) e Cl₂(g). Inicialmente, a professora discutiu com os alunos os conceitos de energia de ionização

e afinidade eletrônica, que haviam sido anteriormente estudados por eles, e chamou atenção para os dados fornecidos na atividade: uma tabela contendo os valores da 1ª energia de ionização e da afinidade eletrônica dos vinte primeiros elementos químicos da tabela periódica, o calor de sublimação de Na(s) e o calor de atomização de Cl₂(g).

A primeira questão tinha um caráter mais generalizado no que concerne à formação de íons, não se referindo especificamente aos íons constituintes do cloreto de sódio. Ela solicitava que os alunos analisassem os valores dados na tabela e que se lembrassem de que um íon é uma espécie carregada positiva ou negativamente. Isto considerado, os alunos deveriam propor um modelo que explicasse como são formados cátions e ânions. Para desempenhar essa tarefa, eles deveriam relacionar a menor energia de ionização (e menor afinidade eletrônica) com a maior facilidade para adquirir carga positiva (formação de cátion) e a maior energia de ionização (e maior afinidade eletrônica) com a tendência de se formar ânion.

Considerando-se a presente pesquisa, cujo foco é a visualização, a primeira questão pretendia verificar a capacidade de utilizar uma representação bidimensional, mais especificamente uma tabela, a fim de interpretá-la, identificando propriedades e relações entre as mesmas e a formação dos íons. Isto engloba também a capacidade de fazer inferências e tecer argumentos convincentes baseados na análise dos dados da tabela, pois, em sua resposta, os alunos deveriam identificar e analisar padrões de aspectos da representação (ao observar os valores de 1ª energia de ionização e afinidade eletrônica dos elementos químicos). Isto está de acordo com o que a NRC (*National Research Council*) defende, sobre a importância das representações gráficas na manipulação de dados, como enfatizado por Gilbert (2008).

Outro elemento envolvido na capacidade de visualização contemplado pela primeira questão seria a capacidade de gerar ou selecionar uma representação e explicar por que ela é apropriada para um determinado propósito. Como a resposta dos alunos deveria conter essa explicação, esperávamos poder verificar a capacidade de traduzir do modo bidimensional (tabela) para o modo verbal.

A segunda questão se referia especificamente ao íon formado a partir da substância Na(s). Os alunos deveriam responder, com base nos dados da tabela, qual deveria ser o íon mais estável de sódio, justificando sua resposta. A seguir, solicitava-se o cálculo do valor energético envolvido na formação de um mol deste íon. Para tal, era preciso que fossem considerados os valores da energia de sublimação do Na(s) e de sua 1ª energia de ionização. Somando-se esses valores, ter-se-ia encontrado que, para a formação de um mol de $\text{Na}^+(\text{g})$, a partir de Na(s), são absorvidos 603,8 kJ.

A terceira e última questão da Atividade 4 era análoga à segunda, porém referia-se ao cloro: perguntava qual o íon mais estável formado a partir de $\text{Cl}_2(\text{g})$, com solicitação de justificativa e do valor energético envolvido na formação de um mol desse íon. Ao efetuar os cálculos, alunos deveriam perceber que, no caso da atomização do cloro, um mol de $\text{Cl}(\text{g})$ se forma a partir de meio mol de $\text{Cl}_2(\text{g})$, dado que não foi destacado na atividade. Então, somando-se o calor de atomização e a afinidade eletrônica (considerando-se o valor desta última negativo, uma vez que o processo envolvido é exotérmico), tem-se o valor de 227 kJ liberados por mol de íon Cl^- que se forma.

Nas duas últimas questões acima descritas, vários elementos da capacidade de visualização poderiam ser contemplados, a saber: capacidade de identificar e utilizar tabelas e expressões matemáticas, e de traduzir entre esses dois modos bidimensionais de representação; capacidade de traduzir as expressões matemáticas (modo simbólico) envolvidas para o modo verbal; e capacidade de resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos.

Na aula que se seguiu à execução dessa atividade, a professora discutiu as questões com a turma, momento em que os alunos responderam quais os íons mais estáveis para o sódio e o cloro e justificaram suas respostas com base nos dados de energia fornecidos na atividade. Ela escreveu no quadro as equações químicas correspondentes à sublimação do Na(s) e sua ionização, demonstrando o cálculo da energia absorvida na formação de um mol de íons Na^+ . O mesmo se deu para a

formação de um mol de íons Cl^- , começando com a equação química que representa a atomização de Cl_2 (quando a professora lembrou que deveria ser considerado meio mol de cloro gasoso, pois a atomização de um mol de moléculas fornece dois mols de átomos). A equação da formação de Cl^- a partir de átomos de cloro foi também escrita e demonstrou-se o cálculo da energia liberada ao ser formado um mol de íons. Durante toda a discussão, os alunos participaram ativamente, demonstrando compreender as representações simbólicas utilizadas e interferindo na explanação da professora.

Atividade 5: Elaboração de modelo para o cloreto de sódio

Partindo da atividade anterior, em que os estudantes haviam proposto um modelo para a formação dos íons Na^+ e Cl^- , a Atividade 5 (Anexo 6) solicitava uma explicação para a maneira como esses íons interagem na formação de cloreto de sódio sólido.

Primeiramente, solicitava-se que os alunos considerassem um sistema formado de água líquida e íons Na^+ e Cl^- , isto é, cloreto de sódio dissolvido em água, e que desenhassem um modelo que representasse esse sistema. Em seu desenho, era esperado que fossem representadas as partículas presentes no sistema (representação em nível submicroscópico). Apesar de a questão não ser explícita quanto a essa solicitação, os alunos desta turma estavam acostumados a fazer desenhos de partículas para sistemas e suas transformações físicas, ou seja, mudanças de estado de agregação, expansão e compressão de gases.

Considerando-se a solicitação do desenho na primeira questão, podemos dizer que esta constituiu uma oportunidade para verificarmos a capacidade dos alunos de utilizar esse tipo de representação bidimensional, bem como sua capacidade de resolver novos problemas utilizando uma abordagem baseada em modelos e de gerar ou selecionar uma representação adequada ao propósito. Todas as capacidades citadas são consideradas, nesta pesquisa, elementos da capacidade de visualização.

A seguir, na segunda questão, eles deveriam explicar o que acontece com o sistema proposto à medida que a água vai evaporando até que reste apenas o sal, construindo um modelo concreto para representar o sistema final. O material utilizado para a construção do modelo ficava à escolha do grupo, estando disponíveis bolinhas de isopor de tamanhos diversos, massa de modelar de várias cores, palitos e lápis de cor. Após a elaboração do modelo concreto, os alunos deveriam fazer um desenho do modelo construído pelo grupo, explicando-o por escrito, caso julgassem necessário, algum detalhe do desenho como, por exemplo, a representação das interações entre as partículas. Outra solicitação da segunda questão era que se justificasse a escolha do material utilizado pelos alunos, dentre aqueles que lhes foram fornecidos. Finalmente, a questão pedia uma descrição, o mais detalhada possível, de todos os passos seguidos desde o início da atividade até a elaboração do modelo para o cloreto de sódio sólido.

Este momento foi considerado de especial importância para esta pesquisa, pois foi a primeira oportunidade de verificar a capacidade dos alunos de utilizar uma representação tridimensional, isto é, um modelo concreto. A capacidade de identificar e utilizar este tipo de representação, feita de material manipulável, é considerada, nesta pesquisa, um dos elementos envolvidos na capacidade de visualização. Outro elemento que compõe essa capacidade, que também pôde ser verificado na segunda questão, foi a tradução de um modo de representação para outro, haja vista que os alunos deveriam desenhar (modo bidimensional) a partir do modelo tridimensional. Outro elemento de visualização, para esta pesquisa, que também esperávamos verificar nessa questão é a capacidade de fazer conexões entre diferentes representações, para mapear aspectos de um tipo de representação naqueles de outro e explicar a relação entre eles (conexões entre o modo 3D e o modo 2D, com legendas que esclarecessem a transição entre esses modos de representação). Além disso, consideramos que novamente os alunos poderiam demonstrar sua capacidade de gerar uma representação, explicando por que ela é adequada ao que se propõe, ao mesmo tempo em que resolveriam um novo problema (propor e representar o sistema após a evaporação da água), utilizando modelos.

A terceira questão perguntava qual deveria ser o tipo de interação entre esses íons. Como os alunos já tinham conhecimento prévio sobre força de atração coulombiana, estudada em física, esperava-se que eles refletissem sobre o fato de que os íons deveriam interagir por atração eletrostática. No entanto, não esperávamos que eles chegassem à idéia de rede iônica (por considerarmos que eles ainda não possuíam elementos para que isto ocorresse), mas sim à idéia mais freqüente, segundo a literatura, de atração entre os íons em pares, ou seja, de “moléculas de NaCl”. A ocorrência da idéia de pares de NaCl era esperada porque os estudantes costumam se basear na transferência de um elétron de um átomo de sódio para um átomo de cloro (Taber, 1997). Esta tendência costuma ser reforçada por muitos livros didáticos (e até mesmo por muitos professores), que enfatizam o modelo de transferência de elétron verbalmente e por meio de desenhos.

A questão seguinte solicitava uma explicação para o fato de os íons interagirem, levando à formação do cloreto de sódio. Esperava-se que os alunos se remetessem à Atividade 3 (formação do óxido de magnésio), e que relacionassem a formação da substância ao abaixamento de energia potencial do sistema e, conseqüentemente, à estabilidade do mesmo. Como, na discussão da citada atividade, a professora explicou o gráfico poço potencial para a formação de ligação no hidrogênio gasoso e, posteriormente, generalizou a explicação para a formação de todas as ligações, parecia-nos natural que essa idéia ocorresse aos alunos para explicar a formação do cloreto de sódio. No entanto, considerávamos também a possibilidade de os alunos fornecerem justificativas baseadas apenas em atração eletrostática, reiterando a resposta à terceira questão desta atividade.

A quinta e última questão pretendia que os alunos que até então não haviam pensado em relacionar o fato de um sistema se formar com seu menor conteúdo energético em relação aos reagentes que lhe deram origem, o fizessem neste momento. Isto porque a questão perguntava o que se pode dizer sobre a estabilidade da substância formada em relação a seus constituintes iniciais, isto é, os reagentes que lhe deram origem. Além disso, os alunos deveriam apresentar uma justificativa para

sua resposta. Consideramos esta questão, do ponto de vista conceitual, análoga ao que se havia solicitado na Atividade 3 (formação do óxido de magnésio a partir de magnésio e oxigênio), o que poderia fazer com que os estudantes se lembrassem da mesma. Acreditávamos na possibilidade de alguns deles ainda não terem relacionado estabilidade com abaixamento de energia por causa da existência de estudos sobre a tendência dos estudantes em utilizar a chamada regra do octeto (Coll & Treagust, 2003; Fernandez & Marcondes, 2006; Mendonça & Justi, in print; Mortimer, 1994; Taber & Coll, 2003; Treagust & Chittleborough, 2001). Mortimer (1994) afirma que a maioria dos livros didáticos de Química destinados ao Ensino Médio aborda essa ligação de maneira a reforçar a idéia de que é necessário o átomo ganhar ou perder elétrons a fim de completar oito elétrons no nível de valência e adquirir estabilidade. Por isso, consideramos ser possível a ocorrência da mesma no momento de explicar a estabilidade dos compostos iônicos. Apesar de termos conhecimento de que a professora da turma não usou esse recurso, os estudantes podem tê-lo visto em anos anteriores, por exemplo, no ensino fundamental. Julgamos ainda importante considerar que alguns alunos podem ter tido um primeiro contato com ligações químicas em livros que utilizam essa abordagem dogmática.

Todos os modelos elaborados pelos grupos foram apresentados para a turma, a fim de que pudessem ser discutidas divergências e dúvidas a respeito dos mesmos. A professora e os colegas de outros grupos puderam interferir na apresentação de cada um dos modelos, de modo a permitir que ricas discussões emergissem. Na apresentação, uma das preocupações da professora foi questionar o código de representação utilizado pelos alunos como, por exemplo, o significado dos palitos e das bolinhas de cores ou tamanhos diferentes. Naquela ocasião, os estudantes puderam, de forma verbal, justificar a escolha do material para a construção do modelo, o que haviam feito por escrito, na atividade.

O momento de apresentar os modelos foi considerado, nesta pesquisa, uma oportunidade para que se verificasse a capacidade de transferência do modo representacional concreto para o verbal, pois os alunos tiveram que descrever as

entidades presentes em seu modelo, bem como as relações entre elas. Isto quer dizer que eles foram solicitados a explicar, por exemplo, a natureza das bolas e dos palitos num modelo em que utilizaram massa de modelar e a intensidade da força de atração representada pelos palitos. Foi possível verificar, ainda, se os alunos consideravam a existência de algo *concreto* ligando os íons, como o palito ligando as bolinhas no modelo concreto, ou se aceitavam a idéia de que o palito, assim como as bolas, são apenas representações.

Atividade 6: Temperatura de fusão do cloreto de sódio

Nesta Atividade (Anexo 7), os alunos deveriam verificar se o modelo proposto na Atividade 5 seria capaz de justificar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio. Este foi considerado o momento em que se testou o modelo elaborado, a fim de averiguar se o mesmo era satisfatório para explicar aquilo a que se propôs. Caso não o fosse, deveria ser modificado, ou mesmo descartado. Considerando o diagrama Modelo de Modelagem (figura 2.5), isto corresponde a conduzir experimentos mentais com o propósito de testar o modelo.

Considerando a segunda questão desta pesquisa (Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão do papel de representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico?), a atividade ora descrita é importante para a investigação que nos propusemos a fazer. O processo de modelagem é inerente ao trabalho científico e, a despeito de ser uma atividade não linear (isto é, de não seguir algoritmicamente os passos descritos no diagrama Modelo de Modelagem), sempre pressupõe a realização de testes, empíricos ou mentais, para a verificação do poder explicativo do modelo, bem como de suas limitações.

Em primeiro lugar, utilizando o dado da temperatura de fusão do cloreto de sódio (808 °C), os alunos deveriam decidir se seu modelo conseguia explicar este valor tão elevado e justificar, caso eles considerassem que sim.

Se eles percebessem que seu modelo não conseguia explicar essa propriedade do cloreto de sódio, solicitava-se que uma reformulação fosse feita, a fim de torná-lo capaz de fundamentar tal explicação. Nesse caso, os alunos fariam um desenho do novo modelo construído. Além disso, deveriam comparar os dois modelos, o original e o reformulado, e identificar que aspectos do primeiro precisaram ser modificados, justificando o motivo da modificação.

Assim como esperávamos, na atividade anterior a esta, que os alunos pensassem em pares de íons Na^+ e Cl^- , também nos parecia possível que eles apresentassem a idéia de que no cloreto de sódio sólido existem interações de diferentes intensidades (isto é, forte atração íon-íon e interação fraca entre as “moléculas de NaCl ”). Isto era esperado por ser relatado em várias pesquisas sobre idéias de alunos a respeito de ligação iônica como, por exemplo, em Taber (1997, 2003). No caso de ocorrência desta idéia, o teste proposto na Atividade 6 teria como objetivo contribuir para que os estudantes a abandonassem, uma vez que tal modelo é incoerente com a alta temperatura de fusão da substância, a qual pressupõe fortes interações entre todas as partículas no sólido considerado.

Um elemento de visualização que esperávamos poder verificar aqui é a capacidade de utilizar o modo verbal para explorar as metáforas e analogias em que o modelo se baseou (por exemplo, ao explicar a intensidade das ligações entre os íons), ao justificar por que o modelo seria capaz de explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio ou que reformulações precisariam ser feitas a fim de que isto fosse possível.

Atividade 7: (Re) Elaboração de modelo para o cloreto de sódio, sendo dados valores experimentais de energia liberada.

Inicialmente, retomou-se o conhecimento de que a existência de uma substância se relaciona ao fato de ela ser mais estável do que seus átomos isolados. O objetivo dessa atividade (Anexo 8) era que se promovesse uma reflexão, com base em dados

empíricos, que levasse os alunos que formularam o modelo de “NaCl molécula” a perceber que o mesmo não era adequado para explicar todos os dados disponíveis.

Os dois dados a que eles tiveram acesso foram: (i) a energia liberada na formação de um mol de partículas de cloreto de sódio, a partir de um mol de íons Na^+ e um mol de íons Cl^- , é igual a 104,5 kcal; (ii) na formação de um mol da substância cloreto de sódio, a quantidade de energia liberada é 206 kcal. O enunciado destacava, ainda, que, se esse processo libera maior quantidade de energia do que o primeiro, o produto que nele se obtém é certamente mais estável. Isto quer dizer que a forma de organização mais estável não é aquela em que ocorre a atração entre um íon Na^+ e um íon Cl^- , ou seja, o cloreto de sódio não deve ser formado por pares iônicos. Esta era a interpretação que esperávamos que os alunos elaborassem.

A professora foi ao quadro e reiterou que os dados da atividade permitiam concluir que o cloreto de sódio sólido deve ser constituído por uma estrutura mais estável do que aquela em que os íons se ligariam dois a dois, uma vez que maior energia é liberada na formação de um mol da substância do que na formação de um mol de pares iônicos. Além disso, a professora lembrou que o cloreto de sódio sólido não conduz energia elétrica, mas o faz no estado líquido e quando aquoso. Ela pediu que os alunos ainda em dúvida pensassem nesses dados e na energia envolvida na formação do NaCl, ao pensar no modelo para o cloreto de sódio.

A primeira questão solicitava que os alunos propusessem um modelo que explicasse a atração entre os íons Na^+ e Cl^- , levando à formação de NaCl(s). Eles deveriam, ainda, fazer um desenho de seu modelo, com comentários por escrito, se necessário; justificar a escolha do material utilizado na (re)elaboração do modelo; e descrever detalhadamente os passos seguidos para cumprir a tarefa proposta. Tais solicitações são basicamente as mesmas presentes na Atividade 5 (elaboração de modelo para o cloreto de sódio a partir do modelo para a solução aquosa do mesmo).

Pretendia-se, com a primeira questão, verificar alguns elementos da capacidade de visualização: gerar ou selecionar uma representação e explicar por que ela é

adequada para o propósito; resolver um novo problema, utilizando uma abordagem baseada em modelagem (uma vez que novos dados foram incluídos); utilizar desenhos; traduzir o modo concreto para o modo bidimensional; explorar as analogias e metáforas nas quais o modelo se baseou (ao justificar o material utilizado para elaborar o modelo e descrever os passos seguidos nessa elaboração).

A segunda questão perguntava se o modelo construído na presente atividade era apenas uma modificação do modelo construído anteriormente (Atividade 5 ou 6) ou um novo modelo, diferente do anterior. A resposta deveria conter, ainda, uma justificativa. Novamente, esperava-se a ocorrência de representação verbal, na medida em que os alunos deveriam explicar sua resposta.

Ao final da Atividade 7, houve um momento em que cada grupo apresentou novamente seu modelo à turma e teve, então, a oportunidade de expor suas idéias e discutir aspectos de sua representação com os colegas e com a professora.

Atividade 8: Explicar, por meio do (novo) modelo para o cloreto de sódio, algumas propriedades dos sólidos iônicos e calcular a energia de rede para 1 mol de NaCl.

O principal objetivo desta atividade (Anexo 9) era explicar, por meio do (novo) modelo para o cloreto de sódio, algumas propriedades dos sólidos iônicos (ser duros, quebradiços e apresentar plano de clivagem) e calcular a energia de rede para 1 mol de NaCl.

Antes do início dos trabalhos, a professora fez uma breve revisão dos modelos para o cloreto de sódio elaborados pelos grupos na Atividade 7 e enumerou algumas propriedades dessa substância, com a participação dos alunos.

A Atividade propunha, primeiramente, que os alunos refletissem mais uma vez sobre a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio e que decidissem se seu modelo conseguia explicar essa propriedade, justificando suas idéias. Caso os alunos considerassem seu modelo incapaz de fornecer a explicação requerida, solicitava-se

que eles propusessem e registrassem um novo, com as modificações que se fizessem necessárias.

A professora, então, explicou noções básicas de cristalografia de raios X e mostrou aos alunos, utilizando o retroprojetor, uma representação bidimensional da estrutura do NaCl. Ela destacou, mostrando no desenho, que cada íon positivo se liga a seis negativos e vice-versa, e afirmou que aquela correspondia a uma unidade estrutural do composto, que é constituído por várias dessas unidades. Observando a estrutura do sal de cozinha, os alunos perguntaram por que ele é encontrado na forma de grãos. A professora lembrou que o sal, apesar de duro, é quebradiço, característica comum aos sólidos iônicos. Apresentou à turma fotos, em livros, de outros materiais que são constituídos de compostos iônicos, minerais como a hematita, magnetita, córidon, pirolusita, cassiterita, calcita, mica, berilo, blenda e outros.

A seguir, eles se dedicaram à resolução da segunda questão, que consistia em explicar por que os compostos iônicos são duros, quebradiços e apresentam plano de clivagem. Vários grupos manifestaram dificuldades em resolver essa questão e a presença da professora foi muito solicitada por todos. Provavelmente por esse motivo, a professora foi ao quadro e explicou a teoria da repulsão²⁵, que justifica a quebra do cristal iônico. Ela falou, a título de exemplo, como a força deve ser aplicada paralelamente ao plano de clivagem, a fim de se lapidar um cristal iônico sem quebrá-lo, na joalheria.

Após os esclarecimentos fornecidos pela professora, os grupos voltaram a trabalhar na resposta a essa questão, que tinha o objetivo de verificar a capacidade dos alunos de resolver um novo problema utilizando o modelo elaborado por eles. Além disso, podemos dizer que era uma oportunidade de se testar o modelo, ou seja,

²⁵ Devido à aplicação de uma força, dois planos de íons podem se deslocar em relação um ao outro. Isso pode causar a aproximação de cargas iguais e levar a uma repulsão entre os planos, fazendo com que o cristal se rompa.

de verificar se o mesmo seria capaz de explicar aquelas propriedades do cloreto de sódio.

Na terceira questão, afirmava-se que as atividades de modelagem desempenhadas até então permitiram concluir que os íons interagem em rede, no cloreto de sódio sólido (conclusão já formulada pelos alunos naquele momento). Antes que os grupos começassem a trabalhar, a professora retomou as conclusões da Atividade 4, quando os alunos efetuaram o cálculo do valor energético envolvido na formação dos íons Na^+ e Cl^- . Relembrou também as atividades seguintes àquela, que haviam levado a turma a concluir que há uma energia de rede no retículo cristalino do cloreto de sódio. Outro aspecto retomado pela professora foi a relação entre estabilidade e abaixamento de energia (ao evocar o gráfico *poço potencial*, apresentado aos alunos anteriormente). A questão solicitava o cálculo da energia de rede de um mol de NaCl. Pedia-se, também, uma interpretação do significado físico desse cálculo, isto é, que os alunos indicassem que o resultado obtido era o valor da energia liberada na formação de um mol dessa rede iônica.

Os dados fornecidos, em uma tabela, foram: energia de sublimação do sódio metálico; energia de ionização do sódio; energia de atomização do cloro; afinidade eletrônica do cloro e a energia liberada na formação de um mol de cloreto de sódio, a partir de Na(s) e $\text{Cl}_2(\text{g})$ (processo global). As equações que representam esses processos também foram dadas na tabela. Essa questão se prestou a verificar se os alunos eram capazes de interpretar os dados relativos à energia apresentados na tabela, ou seja, de trabalhar adequadamente os conceitos inerentes ao processo considerado. Para tal, eles deveriam ser capazes de identificar e utilizar a tabela, o que consideramos, nesta pesquisa, um elemento envolvido na capacidade de visualização (de representações bidimensionais). Além disso, seria possível verificar a capacidade de interpretar e utilizar representações simbólicas, isto é, fórmulas e equações químicas, uma vez que as etapas do processo de formação do cloreto de sódio estavam representadas na tabela dessa maneira. Outro elemento envolvido na

capacidade de visualização passível de se verificar na terceira questão foi a capacidade de utilizar expressões matemáticas a fim de se efetuar o cálculo requerido.

Após o término dos cálculos citados, a professora mostrou no retroprojeter duas diferentes representações para a estrutura cúbica do NaCl, uma mostrando um aglomerado cúbico de íons e a outra com o cubo e as arestas representando os íons e suas interações (ver figura 3.3), perguntando aos alunos se ambas poderiam representar aquela substância. O objetivo de se solicitar que os alunos comparassem as duas diferentes representações foi a verificação da capacidade de fazer conexões entre elas e de mapear aspectos de um tipo de representação naqueles de outro. Outro elemento importante envolvido na capacidade de visualização poderia ser verificado neste momento: a capacidade de descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e explicar como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser dito com outra representação.

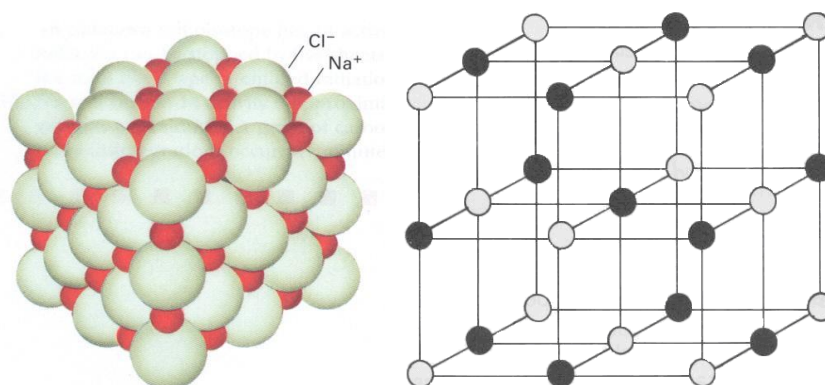


Figura 3.3. Ilustrações para a estrutura do NaCl apresentadas pela professora com o auxílio do retroprojeter.

A seguir, a professora falou sobre os raios iônicos e sobre como eles podem ser medidos experimentalmente. Então, ela forneceu dados de raios iônicos do Na^+ e do Cl^- e falou sobre a influência desses raios no equilíbrio das forças de atração e repulsão. A seguir, forneceu os dados dos raios atômicos de lítio e célio para que os alunos verificassem se as estruturas do CsCl e do LiCl poderiam ser semelhantes à do

NaCl. A professora observou, ainda, que os dois compostos citados apresentam o ânion Cl^- , cloreto, comum ao NaCl. Ela pediu que os alunos imaginassem substituir, na estrutura do cloreto de sódio, o cátion Na^+ pelo Li^+ e que decidissem se a estrutura do cloreto de lítio poderia ser igual à do NaCl. O mesmo foi solicitado para o caso do cloreto de céσιο. Consideramos que, ao propor que os alunos pensassem se o modelo para o cloreto de sódio poderia ser adequado para os cloretos de lítio e de céσιο, a professora propiciou uma situação que poderia possibilitar a verificação da capacidade de resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos. Essa capacidade é também um elemento presente na capacidade de visualização, nesta pesquisa. Esperava-se que os alunos percebessem que os diferentes cátions, sendo maiores ou menores do que o Na^+ , dispostos num retículo idêntico ao do cloreto de sódio, poderiam levar a situações em que cargas iguais ficassem muito próximas, o que causaria repulsão e conseqüente instabilidade.

Após essa discussão sobre tamanho de íons e estrutura cristalina, a professora projetou a estrutura do CsCl (cúbico de corpo centrado), solicitando a participação da turma, ao perguntar quantos cátions estão ligados a cada ânion, e vice-versa, na estrutura apresentada. A professora concluiu dizendo que a estrutura poderia ser cúbica como a do cloreto de sódio, desde que a organização dos íons nesse cubo fosse diferente, por causa do tamanho desses íons. A seguir, ela mostrou a estrutura do sulfeto de zinco, ZnS, e também fez perguntas aos alunos a respeito da proporção entre cátions e ânions na estrutura.

Na aula seguinte, a professora lembrou a discussão sobre as estruturas cristalinas de CsCl e LiCl. Ela forneceu modelos concretos (bola-e-vareta) de vários cristais iônicos para que os alunos observassem, inclusive o modelo do cloreto de cálcio, cuja proporção entre os íons é de 1 para 2. Manipulando os modelos, eles puderam observar, em três dimensões, em que proporção os íons se ligam. Esperávamos que, ao manusear os modelos, os alunos pudessem fazer a tradução do modo concreto (representações tridimensionais) para representações bidimensionais (desenhos), um dos elementos da capacidade de visualização aqui considerados.

A professora forneceu, então, as temperaturas de fusão do CsCl e do ZnS (duas substâncias cujo cristal pôde ser observado nos modelos concretos). Os dados foram: 802°C para o CsCl e 2.300°C para o ZnS, e a grande diferença dos valores causou manifestação de admiração da turma. A professora explicou que essa diferença ocorre devido às cargas dos íons envolvidos: a carga é maior nos íons do sulfeto de zinco, ZnS, que são bivalentes, o que interfere na força com que estes íons se atraem.

Encerrou-se, assim, a estratégia de ensino de ligações iônicas.

Questionário pós-instrução

Após terem-se encerrado as atividades descritas, os alunos responderam, individualmente e por escrito, a um questionário (Anexo 10). A aplicação desse instrumento teve o objetivo de verificar como as atividades da estratégia de ensino contribuíram para a compreensão dos modos e convenções de representação utilizados em Química e do papel das representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico. Como os estudantes haviam trabalhado em grupo durante toda a aplicação da estratégia de ensino, consideramos que os modelos elaborados foram, muito provavelmente, consensuais, isto é, frutos das discussões ocorridas durante o desempenho das tarefas. O questionário, então, constituiu-se numa oportunidade de verificar como o processo vivenciado em grupo influenciou individualmente os estudantes.

A primeira questão abordava a elaboração do modelo para a estrutura do benzeno por Kekulé, supostamente ocorrida após um sonho do cientista²⁶. Os alunos

²⁶ Em relatos de descobertas significantes, feitos pelos próprios cientistas, um tema dominante tem sido de utilização de imaginação e de modelos não-verbais, freqüentemente espaciais (Ramadas, 2009). Kekulé teria declarado a presença desses elementos no processo que o levou a propor a estrutura do benzeno. O termo “imaginação”, como aqui o entendemos, não tem o sentido de um processo misterioso ou fantástico, vivenciado pelos cientistas. Ao contrário, admitimos o significado atribuído por Clement (2008), que relaciona esse termo com a invenção ou recriação de uma experiência que, ao menos sob alguns pontos de vista, assemelha-se com aspectos de uma experiência perceptiva ou motora real. Convém destacar, ainda, que Ramadas (2009) tem como verdadeiro que as visualizações

deveriam decidir se tal modelo foi proposto por um golpe de sorte, a partir do sonho, ou como fruto de uma elaboração mental, justificando sua resposta. Esta questão pretendia verificar a noção do papel das representações na elaboração do conhecimento científico e de como essas representações podem ser elaboradas.

A segunda questão se referia à estrutura da substância fulereno e perguntava, primeiramente, como os alunos explicariam para um colega a comparação da estrutura proposta para essa substância com uma bola de futebol. O objetivo da questão era verificar se os alunos seriam capazes de descrever as entidades e relações entre elas na representação, uma vez que eles deveriam utilizar o modo verbal para explicar que, na bola de futebol, as costuras representariam as ligações entre os átomos de carbono, estes representados pelos vértices.

Ainda na segunda questão, os alunos deveriam comparar duas ilustrações (modelos bidimensionais) representando o fulereno, a fim de identificar pelo menos uma vantagem e uma desvantagem de se utilizar cada uma delas. Esperávamos, nesse momento, verificar se os alunos eram capazes de identificar e utilizar os desenhos (um dos elementos que compõem a capacidade de visualização, considerados nesta pesquisa) de maneira a perceber o que cada uma das representações evidenciava (vantagem) e o que deixava de evidenciar (desvantagem). Outro elemento de visualização que esperávamos poder verificar nesta questão é a capacidade de descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e de explicar como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser dito com outra representação. Por exemplo, ao comparar os desenhos, os alunos deveriam verificar que apenas um deles explicitava as ligações duplas entre os átomos de carbono. É importante ainda destacar que, de acordo com os elementos que apontam para a capacidade de visualização, em que se baseia a presente pesquisa, esta questão também buscava a verificação da capacidade de estabelecer conexões

criativas dos cientistas são construídas sobre um profundo e extenso conhecimento em seu campo, o que confirma o caráter não-fantasiado do termo “imaginação”, conferido pela autora.

entre as duas representações e mapear aspectos de uma delas naqueles da outra, explicando coerentemente a relação entre eles.

A terceira questão do questionário pós-instrução apresentava duas diferentes representações para a estrutura do DNA, sem citar que os desenhos pretendiam representar tal estrutura. Um dos modelos mostrava as partículas da estrutura e, no outro, fitas representavam as estruturas e ligações presentes nas mesmas. Questionou-se inicialmente se os alunos já tinham visto aquelas figuras antes e em que situação. Eles deveriam identificar quais eram as moléculas representadas pelas estruturas fornecidas e citar os símbolos que conseguiam identificar em cada uma das figuras, indicando o significado desses símbolos, isto é, reconhecer os códigos de representação e seus significados. Os elementos de visualização que se pretendiam verificar nas respostas a esta questão eram a capacidade de identificar e utilizar descrições das entidades e das relações entre elas em uma representação, e a capacidade de fazer conexões entre as duas representações e de mapear aspectos de um tipo de representação naqueles da outra, explicando a relação entre eles.

A quarta questão pretendia verificar o conhecimento dos estudantes sobre a importância, para a ciência, de representações como as das figuras apresentadas nas questões anteriores. As duas perguntas que os alunos deveriam responder eram: (i) Você acha que representações como as dessas figuras são importantes na elaboração das idéias dos cientistas? Como? e (ii) Você acha que representações como as dessas figuras são importantes na comunicação das idéias dos cientistas? Como?. Este momento foi considerado importante, pelo seu potencial de fornecer dados relevantes para a discussão da segunda questão desta pesquisa (“Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão do papel de representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico?”).

A quinta e última questão do questionário pós-instrução trazia, no enunciado, a definição de *célula unitária* – como a menor unidade de um cristal que possui toda a sua simetria – e a afirmação de que o cristal inteiro pode ser gerado pela repetição de

sua célula unitária. Exemplos de arranjos estudados pelos alunos durante a instrução sobre ligação iônica (estruturas cúbica de corpo centrado, cúbica de face centrada, ou hexagonal compacta) foram citados no enunciado da questão. A partir desta definição, perguntou-se de que maneira os alunos representariam uma célula unitária e solicitou-se que justificassem sua resposta. Ainda nesta questão, solicitou-se que eles respondessem como os modelos construídos nas atividades desenvolvidas nas aulas contribuíram para que eles fossem capazes de imaginar como é a estrutura de uma célula unitária (se não contribuíram, contribuíram um pouco ou contribuíram muito) e por que. Tal pergunta relaciona-se com a primeira questão da pesquisa: “Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão dos modos e convenções de representações utilizados em química?”, o que justifica a considerável importância que atribuímos à mesma.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentaremos os resultados obtidos a partir dos dados procedentes das transcrições das aulas, do material escrito produzido pelos alunos e das entrevistas. Apresentaremos, primeiramente, o estudo de caso do grupo 1, seguido de sua análise. Finalmente, apresentaremos os resultados referentes às entrevistas, juntamente com a análise das mesmas.

ESTUDO DE CASO DO GRUPO 1

Este grupo era constituído de seis alunos, um menino (A4G1) e cinco meninas. Segundo a professora da turma, todos foram bons alunos, em Química e nas outras disciplinas. Apenas A4G1 era menos participativo e interessado do que as colegas. De fato, seu desempenho nas atividades escritas foi pior do que o das garotas. Ainda segundo a professora, as alunas A3G1, A1G1 e A6G1 eram os destaques do grupo e demonstravam grande interesse em aprender Química, principalmente a partir da construção de conhecimentos nos trabalhos em grupo. A1G1 já havia cursado a primeira série do Ensino Médio em outra instituição, mas optou por repetir esta série na escola em que os dados desta pesquisa foram coletados. A professora relatou ainda que, no ano considerado nesta pesquisa, já cursando a segunda série, esta mesma aluna declarou que ligação química passou a fazer sentido para ela graças às atividades desenvolvidas em grupo, pois quando estudou esse assunto na escola de onde veio, “*apenas decorava*” e que, com a modelagem, ela realmente aprendia. Ainda segundo o relato da professora, A3G1 foi a aluna que, no primeiro dia de aula, disse que “*adorava aprender coisas abstratas*”. A6G1 era considerada pela professora “uma das alunas mais inteligentes da turma, que discordava dos outros para expor seu pensamento e demonstrava apresentar raciocínios bem elaborados”.

A seguir passamos a relatar como este grupo se comportou nas diversas aulas, assim como que idéias e relações entre elas foram expressas por seus alunos. Como destacado anteriormente, a Atividade 1 não será utilizada no estudo de caso pelo fato de não contemplar os elementos que constituem o que, nesta pesquisa, é considerado capacidade de visualização.

Na Atividade 2, durante a elaboração do modelo para o funcionamento da cola, a aluna A1G1 utilizou, de maneira coerente, gestos, para expressar suas idéias. Ela incluiu no gestual, espontaneamente, objetos concretos, como lapiseira, caneta, régua, borracha, para favorecer a exposição de suas idéias. Consideramos a utilização dos objetos como equivalente à elaboração de um modelo concreto (representação tridimensional), pois isso parece ter tido o intuito de facilitar a expressão das idéias e, conseqüentemente, a visualização pelos colegas do grupo. Entendemos ainda, que essa aluna demonstrou a capacidade de traduzir o modelo que tinha em mente, do modo concreto para o modo verbal, pois, ao utilizar os objetos citados, ela também explicitou, de forma oral, a descrição das entidades e das relações entre elas na representação. Isso significa que, enquanto manipulava os objetos que compunham sua representação, a aluna explicava para os colegas do grupo o que cada objeto representava. Na representação de A1G1 (figura 4.1), uma caneta representou a água presente na cola, uma borracha representou a cola, uma lapiseira representou o papel ou madeira que seria colado e uma régua representou outro pedaço de papel ou madeira. A aluna utilizou esses objetos para explicar que o solvente da cola seria a água, e que esta deveria interagir com as partículas da celulose presente no papel, ocorrendo então absorção da água (enquanto falava isso, aproximou a lapiseira da borracha). Ela explicou, então, que as partículas da cola passariam a interagir com as partículas presentes nos dois pedaços de papel ou madeira a serem colados (neste momento, juntou ao conjunto lapiseira/borracha, a caneta e a régua, objetos que representavam os dois pedaços a serem colados). A representação criada por A1G1 também ilustra como as metáforas e analogias nas quais seu modelo se baseou foram exploradas, pois a aluna explicou, por exemplo, que *“na cola, o soluto interage com a*

água” e que, ao se colarem dois pedaços de papel ou madeira, o soluto da cola passa a interagir com as partículas presentes nesses materiais. Em outras palavras, o modelo de A1G1 se baseou em interações entre partículas. Além disso, como a utilização desses objetos se fez de forma espontânea, consideramos que a aluna criou um novo modo de representação, compreendido, nesta pesquisa, como um elemento da capacidade de visualização. Após a exposição de A1G1, outras colegas, A3G1 e A5G1, ao discutirem o funcionamento da cola com o grupo, seguiram seu exemplo, e também se valeram de objetos similares a fim de ilustrar suas idéias, que concordavam com aquela proposta por A1G1.



Figura 4.1. Modelo elaborado por A1G1, com a utilização de objetos escolares.

Todos os componentes do grupo fizeram desenhos para expressar seu modelo sobre a cola e acrescentaram explicações por escrito, o que foi por nós considerado como uma evidência da capacidade de traduzir o modo bidimensional para o verbal, na medida em que as explicações que acompanharam os desenhos descreviam as entidades e a relação entre elas na representação. A análise dos modelos evidenciou que todos os alunos identificaram e utilizaram desenhos de maneira a representar a idéia que haviam proposto: da existência de interações entre a cola e o material que se deseja colar. O grupo propôs que, sendo a água o solvente da suposta cola, para que ela pudesse funcionar era preciso que a água fosse absorvida pela celulose, havendo interação entre as partículas desses dois materiais.

A1G1 escreveu que:

“A cola seca rapidamente e é mais forte que as outras porque tem menos água e mais partículas que colam, sendo a absorção da água mais ‘intensa’, rápida.”

Consideramos que ocorreu a exploração, por A1G1, de metáforas nas quais seu modelo se baseou, quando esta utilizou o termo *intensa*, para descrever a maneira como a água é absorvida por esta cola que, segundo a aluna, era *“forte”*.

Somente A6G1 sugeriu a absorção apenas parcial da água pela celulose, afirmando verbalmente e mostrando, em seu desenho, que a água permanecia interagindo com a cola quando as partes do objeto estavam unidas, indicando que essa interação mantinha tal união (figura 4.1).

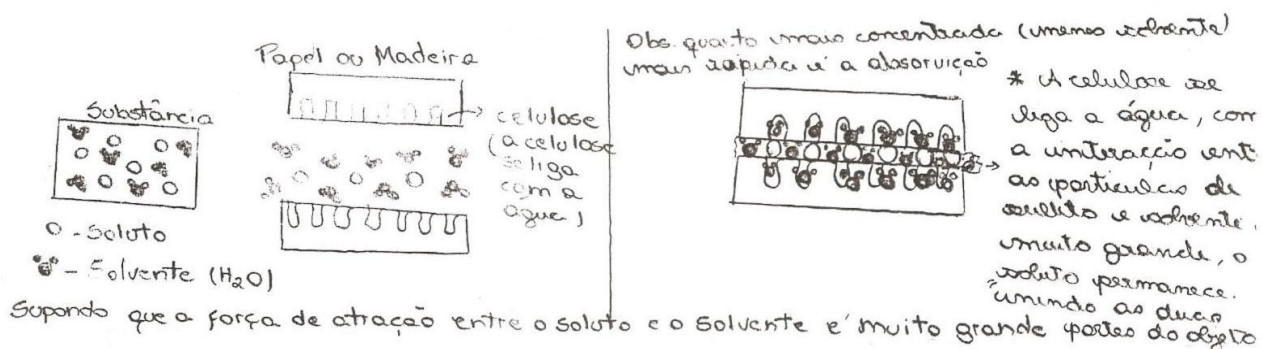


Figura 4.2. Modelo elaborado por A6G1 para o funcionamento da cola.

A6G1 apresentou incoerência ao afirmar que *“a celulose se liga com a água”*, o que se contrapõe à afirmação feita por ela de que, na cola, *“a atração entre o soluto e o solvente é muito grande”*. Consideramos isso como sendo uma incoerência porque, se a aluna imaginou que a atração soluto/solvente é muito intensa, seu modelo não explicou o que faz com que a água *“deixe”* a cola e interaja com a celulose. Devido a isso, consideramos que a aluna apresentou um desempenho parcial, ao utilizar desenhos para expressar seu modelo. Além disso, podemos considerar seu desenho como sendo híbrido, pois representa as partículas do soluto e solvente da cola (nível

submicroscópico), mas não representa as partículas da celulose, que, no desenho, é mostrada no nível macroscópico.

Ainda a respeito do modelo proposto por A6G1, e a despeito de sua incoerência, sua afirmação de que o soluto *“une as duas partes do objeto”* (aspas da aluna) foi considerada, neste trabalho, como evidência de que ela utilizou uma metáfora, uma vez que nos parece que *unir partes* tem o sentido, para ela, de *ligar partículas*.

Observamos, ainda, que os integrantes do grupo não se preocuparam em explicar *como* as partículas da cola interagem com as partículas dos objetos, mantendo-os colados, isto é, não explicitaram a natureza das interações.

A3G1 explicou que como na cola especial, cola *“forte”* (aspas da aluna), há menor quantidade de água como solvente, a ligação entre as partículas da celulose e as partículas da água é mais rápida, fazendo a cola agir instantaneamente. Segundo a aluna, na cola comum, que ela chamou de cola *“fraca”*, há muitas ligações entre as moléculas de água e celulose, o que faz com que demore mais para a cola funcionar. A aluna demonstrou, nesse momento, capacidade de traduzir seu modelo (figura 4.3) para o modo verbal (mesmo tendo se valido também de representações bidimensionais ao se expressar verbalmente). Além disso, a presença dos termos *“fraca”* e *“forte”* apresentados entre aspas na descrição do funcionamento da cola foi considerada como evidência de que a aluna explorou metáforas em que seu modelo se baseou.

Três alunos, A1G1, A2G1 e A4G1, atenderam à solicitação de se ater ao nível submicroscópico (figura 4.4). Os outros três desenharam representações em que se percebem os níveis submicroscópico e macroscópico simultaneamente, sendo, por isso, consideradas híbridas. Por exemplo, o modelo de A3G1 (figura 4.3) parece mostrar uma camada de cola espalhada entre as duas partes que representam a celulose (representação no nível macroscópico) e, ao mesmo tempo, as partículas envolvidas na interação entre os materiais (nível submicroscópico).

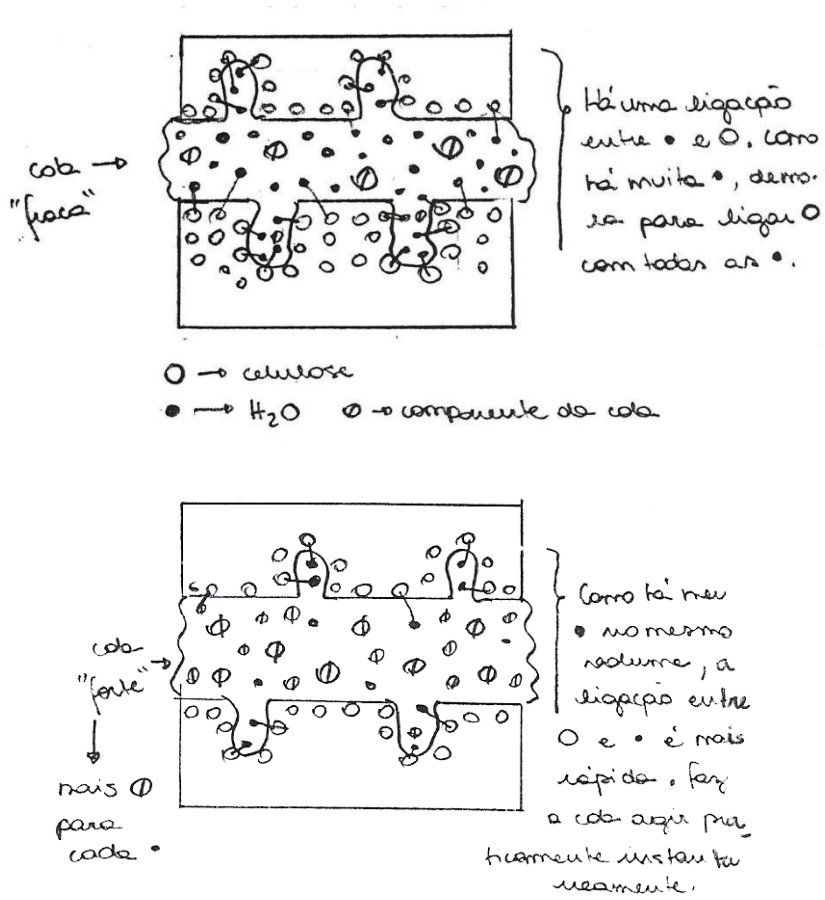


Figura 4.3. Modelo elaborado por A3G1 para o funcionamento da cola.

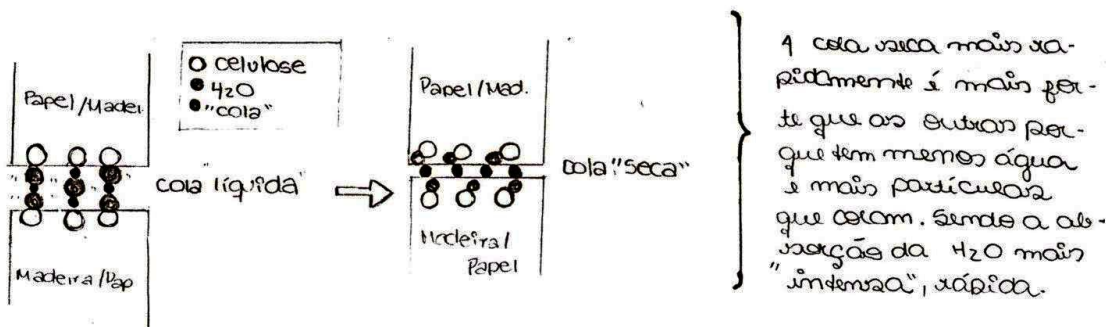


Figura 4.4. Modelo elaborado por A1G1 para o funcionamento da cola.

Um dos aspectos analisados nos modelos foi a capacidade de descrever as entidades e as relações entre elas (por exemplo, a natureza das bolinhas que representam as partículas na representação). Todos demonstraram essa capacidade,

que aqui entendemos como um submodo do modo verbal (ver Quadro 3.1), utilizando legendas que descreviam a natureza das partículas representadas.

Todos os alunos admitiram a existência de interações entre as partículas, a fim de justificar o fato de a cola colar, embora, conforme destacado anteriormente, não explicitaram o tipo de interação existente entre a cola e o objeto colado. Todavia, consideramos que os alunos geraram e selecionaram uma representação e explicaram por que ela é apropriada para o propósito, de forma total, exceto A6G1, que, por ter apresentado a incoerência descrita anteriormente, foi considerada como tendo apresentado um desempenho apenas parcial.

Embora as atividades descritas neste trabalho pretendam contemplar características de uma aprendizagem cooperativa, conforme a consideramos na revisão da literatura, em que o produto do trabalho do grupo de estudantes é o foco, entendemos ser importante considerar elementos de visualização individualmente, quando eles ocorrerem (ou não). Acreditamos que, desta maneira, estamos descrevendo, de forma mais completa, o que se passou no grupo e pode ter influenciado nas idéias e comportamentos de outros alunos.

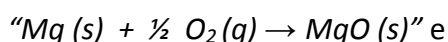
Na Atividade 3, após observar a queima de uma fita de magnésio e, em seguida a tentativa frustrada de se queimar o produto, óxido de magnésio, os alunos foram solicitados a explicar a formação do óxido de magnésio.

Estavam presentes na aula todos os componentes do grupo, exceto A4G1. O grupo discutiu a questão, tentando compreender a relação entre energia liberada, estabilidade e força de ligação. O grupo solicitou a presença da professora e A5G1 afirmou saber que o magnésio é mais instável do que o óxido de magnésio e perguntou como se explicava esse fato. A professora respondeu que ela deveria relacionar isso com energia liberada e absorvida no processo que transforma magnésio em óxido de magnésio. Outra aluna, A3G1 perguntou qual era a carga do magnésio antes da queima e a professora explicou que a carga era zero, isto é, magnésio metálico era constituído de átomos e que só se encontra o elemento na forma de íon

em solução aquosa ou em algum mineral. Como o magnésio estava inicialmente na forma metálica, existiam vários átomos de magnésio ligados. A6G1 perguntou qual era a relação entre força da ligação e estabilidade, ao que a professora respondeu que quanto mais forte a ligação apresentada pela substância, mais estável ela é. A5G1 completou afirmando que, por causa da estabilidade, o óxido de magnésio não reage. A professora destacou a importância de o grupo refletir sobre a energia liberada ao se formar a ligação entre magnésio e oxigênio, a fim de explicar o motivo pelo qual esta ligação é estável, chamando a atenção para o fato de o menor conteúdo energético acarretar maior estabilidade. Novamente, A5G1 complementou a afirmação da professora, dizendo que *“quanto mais energia ela liberar, mais estável ela vai ficar”*. Ao dizer “ela”, entendemos que A5G1 se referia à substância ou, talvez (mais corretamente), à formação desta.

Na questão que solicitava uma explicação para a formação do óxido de magnésio, quatro, dos cinco alunos presentes escreveram, de maneira espontânea, a equação química da combustão do magnésio em sua resposta (identificaram e utilizaram equação química), de forma coerente. Ao fazê-lo, demonstraram compreensão das convenções de representação de símbolos e fórmulas químicas. Somente A3G1 não escreveu a equação que representa tal reação, tendo, contudo, respondido verbalmente que *“Ocorre uma reação de combustão da fita de magnésio com o oxigênio presente no ar – com uma energia de ativação, que é necessária neste caso.”*. Também os outros quatro alunos se expressaram verbalmente, ao descrever as entidades presentes em suas representações e as relações entre elas, sendo que dois deles (A5G1 e A6G1) o fizeram de forma parcial. A5G1 usou o termo *elementos*, onde se esperaria que escrevesse *átomos* e A6G1 afirmou que a reação acontece *“usando para isso a energia que é liberada na combustão”*. Foi interessante que A6G1 tenha sugerido que a energia necessária para a reação de combustão provenha da própria, uma vez que os outros componentes do grupo se referiram – de maneira coerente – à energia de ativação envolvida no processo. Isto indica que a aluna provavelmente tinha um modelo próprio neste momento.

Com relação à expressão verbal do modelo proposto para a formação do magnésio combinada com a equação química que representa o processo, consideramos que houve tradução do modo simbólico para o verbal, por parte de todos os componentes do grupo. Isto porque os alunos (exceto A3G1), além de escreverem a equação química, descreveram o que ela significava, utilizando palavras. Consideremos, a título de exemplo, a resposta de A1G1:



“O magnésio reage com o oxigênio presente no ar através da reação de combustão (é necessária uma energia de ativação para que haja essa reação).”

Quanto à capacidade de selecionar uma representação e explicar por que ela é apropriada para o propósito, consideramos que todos o fizeram de forma coerente. O motivo pelo qual assim consideramos foi o fato de os alunos terem escolhido, de maneira espontânea, utilizar o modo simbólico (equação química) e o modo verbal (utilizaram palavras) de representação para explicar o fenômeno observado. A única exceção foi A6G1 que, pelo fato de ter apresentado a idéia descrita acima sobre a energia envolvida na combustão, teve seu desempenho classificado como parcial.

Na questão em que se perguntava qual o papel do fogo na transformação de magnésio em óxido de magnésio, todos os componentes do grupo responderam que se tratava do fornecimento de uma energia inicial, necessária para que a reação ocorresse. Duas alunas (A5G1 e A6G1) utilizaram o termo energia de ativação.

Por fim, ao comparar a estabilidade dos dois sistemas (magnésio e óxido de magnésio), todos associaram estabilidade a menor conteúdo energético, como se pode constatar, por exemplo, na resposta de A3G1:

“Quanto maior a quantidade de energia, maior a instabilidade. O Mg e o O₂ são estáveis: quando é fornecida energia a eles, eles ficam instáveis e se ligam, liberando energia e formando o MgO. Como foi liberada energia, o MgO está em um estado de menor energia, ou seja, ele é estável.”

Durante a discussão do gráfico *poço potencial*, projetado numa tela pela professora, todos os alunos da turma participaram ativamente, demonstrando ter compreendido a relação entre estabilidade e abaixamento de energia ilustrada graficamente. A aluna A1G1 fez uma interferência, no momento em que a professora explicava que as forças de atração contribuíam para o abaixamento de energia enquanto as de repulsão faziam com que a energia aumentasse. Ela disse não entender essa teoria, porque “*se é para os átomos ficarem mais próximos, como é que a força de atração influencia nisso negativamente e a de repulsão, positivamente?*”. A professora explicou que essa era uma convenção e que para o sistema ser mais estável, ele liberava energia, o que se relacionava com as forças de atração. Ela destacou que existiam as duas forças, atrativas e repulsivas, e que na formação da ligação havia um equilíbrio de tais forças. A aluna pareceu satisfeita com a explicação fornecida.

Na Atividade 4, os estudantes trabalharam na construção de um modelo para explicar a formação de íons. Inicialmente, foram retomados os conceitos de energia de ionização e de afinidade eletrônica e fornecidos dados sobre o calor de sublimação do Na(s) e o calor de atomização do Cl₂(g). Além disso, numa tabela, foram dados os valores da 1ª energia de ionização e da afinidade eletrônica dos vinte primeiros elementos químicos da tabela periódica.

Em suas respostas escritas, todos conseguiram identificar e analisar padrões de aspectos da representação (no caso, bidimensional, a tabela dada), de forma total. Eles conseguiram relacionar a menor energia de ionização com a maior facilidade para adquirir carga positiva (formação de cátion) e a maior afinidade eletrônica com a tendência de se formar ânion. Podemos dizer que o grupo identificou e utilizou a tabela adequadamente e que soube traduzir este modo de representação para o modo verbal. Consideramos ainda que eles geraram uma representação (i.e., criaram um modelo que explicou coerentemente a formação dos íons).

No primeiro item da segunda questão, que perguntava qual é o íon mais estável formado a partir da substância $\text{Na}(s)$, o grupo também utilizou a tabela de forma adequada e soube traduzir para o modo verbal a leitura da mesma. O mesmo sucesso foi obtido no primeiro item da terceira questão, que fazia a mesma pergunta (íon mais estável) em relação ao cloro.

Ao calcular os valores energéticos envolvidos na formação de um mol dos citados íons, todos o fizeram de maneira correta, utilizando os dados fornecidos na tabela em uma expressão matemática (tradução modo bidimensional – modo simbólico). Eles também explicitaram seu raciocínio verbalmente (tradução modo simbólico – modo verbal), tendo resolvido o problema proposto de forma coerente.

Na primeira questão da Atividade 5, que solicitava um desenho que representasse um sistema formado de água e íons Na^+ e Cl^- , cada um dos seis componentes do grupo gerou uma representação, mas nenhum dos desenhos representou qualquer tipo de interação entre os íons e a água. Além disso, somente dois alunos (A1G1 e A5G1) se preocuparam em evidenciar o tamanho dos íons em sua representação (ver figura 4.5). Como os alunos só elaboraram os desenhos com suas respectivas legendas, mas não elaboraram qualquer tipo de explicação ou complementação de modo verbal, consideramos que eles geraram representações, mas não explicaram por que as mesmas seriam apropriadas para o propósito. Devido a isso, e também à não preocupação com interações e/ou tamanho dos íons (figura 4.5), consideramos que eles utilizaram representações bidimensionais (desenhos), de maneira apenas parcial.

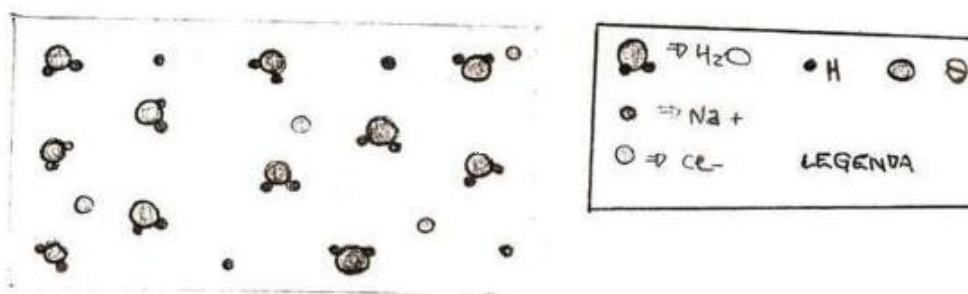


Figura 4.5. Modelo elaborado por A1G1 para a solução aquosa de cloreto de sódio.

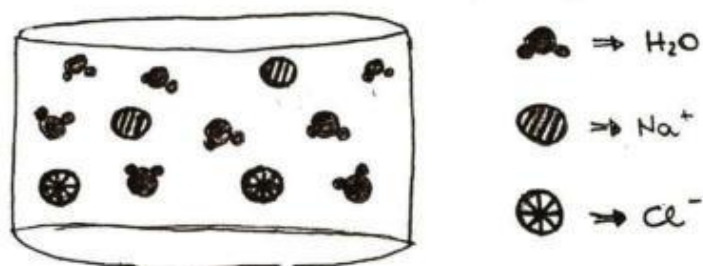


Figura 4.6. Modelo elaborado por A3G1 para a solução aquosa de cloreto de sódio.

A segunda questão envolvia a construção de um modelo concreto e um desenho do mesmo, para o cloreto de sódio, após a evaporação da água. Todos os componentes do grupo fizeram a tradução do modo concreto para o desenho (tradução tridimensional – bidimensional), o que pode ser observado por meio da comparação entre o modelo concreto elaborado pelo grupo (figura 4.7) e os desenhos (figuras 4.8a, 4.8b e 4.8c) que o representam.

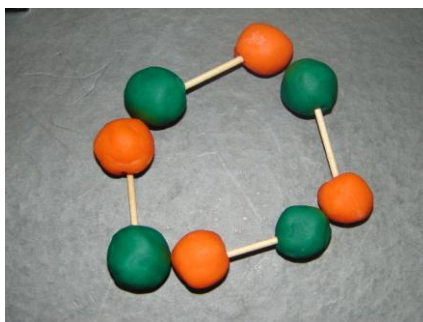


Figura 4.7. Modelo concreto elaborado pelo grupo, para o cloreto de sódio, após evaporação da água.

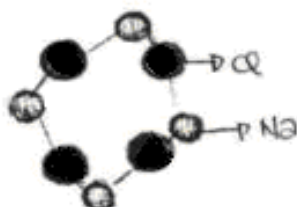


Figura 4.8a. Desenho elaborado por A1G1, para o cloreto de sódio, após evaporação da água.

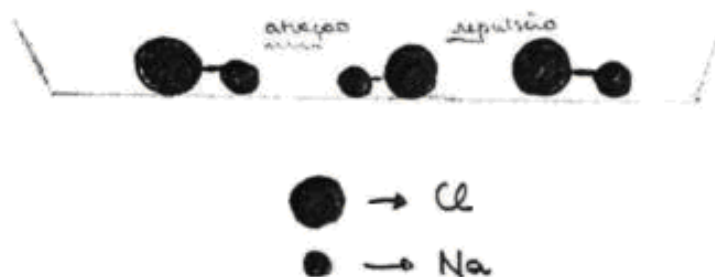


Figura 4.8b. Desenho elaborado por A3G1, para o cloreto de sódio, após evaporação da água.

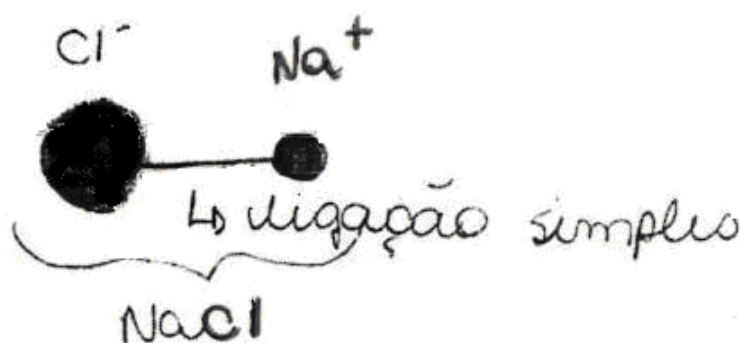


Figura 4.8c. Desenho elaborado por A5G1, para o cloreto de sódio, após evaporação da água.

Nas representações bidimensionais (desenhos) feitas a partir da tridimensional (concreta), todos os componentes do grupo representaram as entidades Na^+ e Cl^- e, ao fazê-lo, demonstraram o tamanho relativo desses íons. Isto havia sido observado, na primeira questão, apenas nos desenhos de A1G1 e A5G1, conforme destacado.

Um dos elementos envolvidos na capacidade de visualização, nesta pesquisa, é fazer conexões entre diferentes representações para mapear aspectos de um tipo de representação naqueles de outro e explicar a relação entre eles. Consideramos que os alunos fizeram conexões entre o modo 3D e o modo 2D, e que eles mapearam e explicaram os aspectos citados, coerentemente, pois seus desenhos apresentaram legendas que esclareciam a transição entre os modos tri e bidimensional. Segundo nossa apreciação a respeito das conexões entre representações, estas podem ser

feitas entre modelos que são apresentados aos estudantes ou entre os que tenham sido elaborados por eles.

Quanto a gerar ou selecionar uma representação, consideramos que eles o fizeram de forma apenas parcial, pois seus modelos (concreto e bidimensional) sugerem a idéia de “NaCl molécula”. O grupo teve a oportunidade de explicar por que considerou sua representação adequada ao propósito no momento em que apresentou seu modelo concreto à turma, na aula seguinte.

Ao apresentar seu modelo para a turma, o grupo começou fixando o modelo concreto (configuração cíclica que parecia ser constituída de várias moléculas de NaCl – figura 4.7) no quadro. O grupo demonstrou a capacidade de traduzir seu modelo concreto para o modo verbal, descrevendo as entidades presentes na representação, bem como as relações entre elas. A aluna A5G1 explicou o modelo, descrevendo o que cada bolinha representava. A aluna A3G1 justificou que eles fizeram o Cl maior porque este apresenta maior massa molar. A professora pediu que eles esclarecessem se usaram a massa ou a carga como referência para o tamanho das partículas, e A3G1 voltou a afirmar que usaram a massa. A professora perguntou, então, como seria a interação para formar o sólido. A3G1 tomou a palavra, dizendo que a maioria do grupo achava que a atração entre uma molécula e outra era diferente da atração na ligação entre os íons. A única colega que discordou foi A6G1. Ela explicou o motivo à turma, e foi coerente ao argumentar que, quando colocado em solução, o NaCl tem todas as suas ligações quebradas, o que, para ela, indicava que elas deveriam ser todas iguais.

Durante a fala da aluna A6G1, outra colega, A1G1, interveio, esclarecendo um detalhe do modelo: *“Não tem um palitinho que junta os átomos.”* Consideramos esta intervenção um indício de um importante elemento de visualização, pois demonstra que a aluna compreendia (e também o grupo, uma vez que seus colegas concordaram com a afirmação) se tratar de uma representação, e não da realidade. Em outras palavras, a aluna utilizou palavras para relacionar aspectos de uma representação com os da entidade que ela representa (palitinhos representam ligações).

A aluna A5G1 disse que podia ser que a representação simbólica $NaCl$ fosse apenas para representar a proporção e que talvez “*um Na não se ligue a um só Cl*”. Consideramos que A5G1 demonstrou ser capaz de transpor do modelo simbólico (fórmula do cloreto de sódio) para o verbal, pois descreveu as entidades e as relações entre elas na representação, no que contou com a anuência do grupo.

A professora perguntou ao grupo se, com a apresentação dos grupos anteriores (o grupo foi o quinto a se apresentar), eles já haviam começado a pensar na possibilidade de não existir interação e ligação, mas só ligação (modelo apresentado por outros grupos). Eles afirmaram que sim.

A1G1 disse achar que, do modo como o modelo sugere, parece ser uma grande molécula de $NaCl$ (não se referindo aos pares, mas ao todo). A professora pediu que ela explicasse melhor e a resposta foi:

“Primeiro a gente pensou que uma molécula fosse isso (mostrou um par iônico). Mas se tiver outro palitinho aqui (juntando um par iônico com outro), e assim eternamente, vai ser uma grande molécula (figuras 4.7 e 4.8a). Fica parecendo isso (referindo-se à idéia de uma única molécula).”

A professora observou que, para saber se era aquilo, eles precisariam de mais dados. A aluna concordou e voltou a afirmar que parecia que era, mas ela não tinha certeza.

Uma aluna de outro grupo, A2G4, interveio dizendo que não se podia dizer que seria uma molécula, mas apenas que o arranjo seria um para um, demonstrando estar de acordo com o que A5G1 havia afirmado momentos antes. A professora concordou que o modelo do grupo considerou a proporção de um para um. A5G1 disse ser verdade, pois o arranjo poderia ser, por exemplo, 8 para 8 e a professora lembrou que, ainda assim, seria 1 para 1.

Ao justificar, por escrito, a escolha do material utilizado, a aluna A1G1 respondeu:

“Escolhemos a massinha pois, além de ser divertido, pode representar cada elemento com cor, tamanho e forma diferentes. Usamos o palito para representar a ligação/interação entre os átomos.”

A resposta da aluna demonstrou que o grupo foi coerente ao utilizar palavras para identificar e analisar aspectos da representação (por exemplo, quando ela explicou a razão das cores e formas diferentes de massa de modelar utilizadas).

Consideramos ainda que a transferência do modo concreto para o modo verbal ocorreu na medida em que o grupo descreveu as entidades e as relações entre elas em sua representação (indicando o que cada bolinha diferente representava e o papel do palito unindo-as). Nesse quesito, três alunos, A1G1, A5G1 e A2G1, empregaram, por escrito, o termo *átomos* onde o mais adequado seria *íons* e um deles (A2G1) falou também em *moléculas*, confirmando o que o modelo concreto (figura 4.7) parece sugerir.

A seguir, ainda na atividade escrita, os alunos foram solicitados a descrever, da maneira mais detalhada possível, todos os passos que seguiram para a elaboração do modelo, desde o item que pedia o desenho da solução aquosa de cloreto de sódio. Além de alguns continuarem usando os termos *átomos* e *elementos* onde deveriam usar *íons*, todos os alunos do grupo afirmaram que os íons em água estariam separados e que, com a evaporação, se ligariam, sem imaginar que os íons inicialmente interagem com as moléculas do solvente. Isso parece confirmar o que os desenhos elaborados na questão 1 (figuras 4.5 e 4.6) sugerem. A aluna A6G1 afirmou que *“conforme a água evaporava ocorreriam as reações”*, parecendo ter confundido *reações* com *ligações*.

No que se refere ao tamanho das bolinhas, a aluna A3G1 escreveu:

“ Fizemos o Na pequeno e o Cl grande já que a massa molecular do primeiro é menor que a do segundo.”

Essa afirmação confirma o que a mesma aluna respondeu na apresentação do modelo, quando do questionamento feito pela professora (ao ser questionada sobre terem

baseado o tamanho dos íons em sua carga ou em sua massa, A3G1 justificou que eles fizeram o Cl maior porque este apresenta maior massa molar). É interessante comparar, no entanto, os desenhos de A3G1 para a questão 1 (figura 4.6) e para a questão 2 (figura 4.8b). Somente na questão 2 a aluna demonstrou ter se preocupado em representar os íons segundo seu tamanho relativo, o mesmo tendo acontecido com os outros colegas (exceto A1G1 e A5G1, que já haviam evidenciado esse aspecto na primeira questão).

Mesmo levando em conta as concepções alternativas apresentadas, observamos que os alunos foram capazes de gerar ou selecionar uma representação e explicar por que ela é apropriada para o propósito, de forma razoavelmente coerente. No entanto, devido a tais concepções, e para fins de categorização, o desempenho do grupo no que se refere a essa capacidade de visualização foi considerado parcial.

Na terceira questão, perguntava-se sobre o tipo de interação entre os íons, no cloreto de sódio sólido. Todos os componentes do grupo responderam que há atração entre cargas opostas e explicitaram que tal atração é a chamada ligação iônica.

Na questão seguinte, quando solicitados a explicar porque os íons interagem levando à formação de uma substância, apenas a aluna A6G1 empregou o termo *átomos*, ao invés de *íons*, e todos os componentes do grupo falaram em atração entre cargas opostas. No entanto, nenhum deles fez qualquer tipo de referência ao abaixamento de energia potencial do sistema, nem se lembrou da discussão sobre este assunto que se seguiu à Atividade 3 (formação do óxido de magnésio). Naquela ocasião, a professora apresentou e explicou o gráfico de poço potencial para a turma, e relacionou o fato de se formar o óxido de magnésio com a menor energia potencial do mesmo, se comparada à dos reagentes magnésio e oxigênio. Essa discussão ocorreu exatamente uma semana antes da presente atividade, mas não houve referência a ela, por parte dos alunos do grupo.

A quinta questão favorecia a utilização dessa idéia ao questionar: “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?”. Mesmo sem mencionar *energia*, o enunciado da questão trazia o termo *estabilidade* e, por isso, esperávamos que os alunos estabelecessem uma relação com conteúdo energético, conforme o gráfico mencionado explicita. No entanto, nenhum dos componentes do grupo se remeteu ao esperado. As justificativas se limitaram à “*neutralização*” ou “*cancelamento*” de cargas (alunas A1G1, A2G1 e A3G1) e ao “*equilíbrio*” de cargas (alunos A4G1, A5G1 e A6G1). As alunas A3G1 e A5G1 afirmaram ainda que os íons Na^+ e Cl^- se “*completavam*” (aspas escritas pelas alunas). Além disso, todos eles procuraram justificar a maior estabilidade da substância formada em relação aos seus íons (maior estabilidade quando os íons estão ligados do que quando estão separados) e não aos reagentes $\text{Na}(s)$ e $\text{Cl}_2(g)$, como solicitado na atividade.

Apesar de não terem atendido à solicitação da questão, foi possível observar a utilização de metáforas em que os modelos se basearam para explicar a estabilidade da substância cloreto de sódio. Como as metáforas utilizadas (idéia de estabilidade relacionada a equilíbrio, cancelamento de cargas, neutralização etc.) não se referiam ao conteúdo energético do sistema, o que justificaria a estabilidade do mesmo, consideramos que eles tiveram desempenho parcial.

A Atividade 6 pretendia levar os alunos a testar seus modelos e reformulá-los, se fosse o caso. Como o modelo proposto por eles tinha como objetivo explicar a formação do cloreto de sódio e suas propriedades, ele deveria ser satisfatório para explicar a elevada temperatura de fusão deste sal.

A primeira questão perguntava se o modelo proposto pelo grupo era capaz de explicar o valor elevado da temperatura de fusão do sal de cozinha e como o faria. Todos os componentes admitiram que o modelo não era capaz de explicar tal propriedade, por não apresentar uma estrutura “*mais complexa*” (segundo A1G1 e A6G1). Todos afirmaram ter pensado em apenas um Na^+ e um Cl^- ao elaborar seu modelo. Observou-se que apenas uma aluna do grupo, A3G1, continuou utilizando o termo *molécula*, ao escrever:

“Nosso modelo não é capaz de explicar o valor elevado da temperatura de fusão do cloreto de sódio, já que não revelava a ligação entre as moléculas, considerava apenas a ligação entre um Na e um Cl em uma molécula. Para explicar este fenômeno, teríamos que considerar também a ligação entre moléculas, já que uma alta TF está associada às duas ligações.”

Essa afirmação demonstra que a aluna admitiu, assim como os outros componentes do grupo, que não era possível explicar a alta temperatura de fusão da substância utilizando o modelo em que se considera apenas um Na^+ e um Cl^- . No entanto, a aluna parecia trazer, ainda, a idéia de que as ligações presentes na substância têm interações de intensidades diferentes. Tal idéia havia sido explicitamente contestada pela colega A6G1, conforme relatado a pouco, e mencionada pela professora (quando esta perguntou se o grupo pensava em admitir a idéia de existir apenas um tipo de interação no cloreto de sódio).

A segunda questão solicitava que o modelo fosse reformulado, se necessário, e pedia, no item a, um desenho do novo modelo construído pelo grupo. O grupo refez seu modelo, representando os íons ligados em uma estrutura cúbica (figura 4.9).

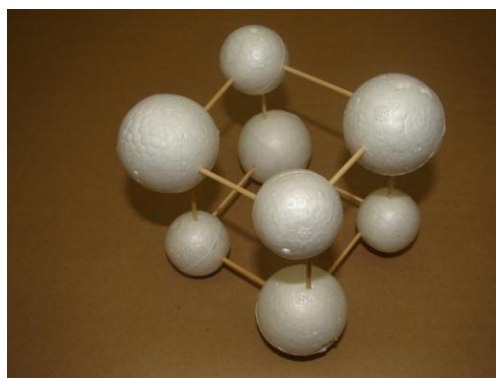


Figura 4.9. Modelo reelaborado pelo grupo, para o cloreto de sódio, após evaporação da água.

Consideramos que todos os alunos resolveram o novo problema proposto (explicar a alta temperatura de fusão do NaCl), gerando uma representação e explicando-a coerentemente, além de terem feito a tradução do modo concreto para desenho (figura 4.10).

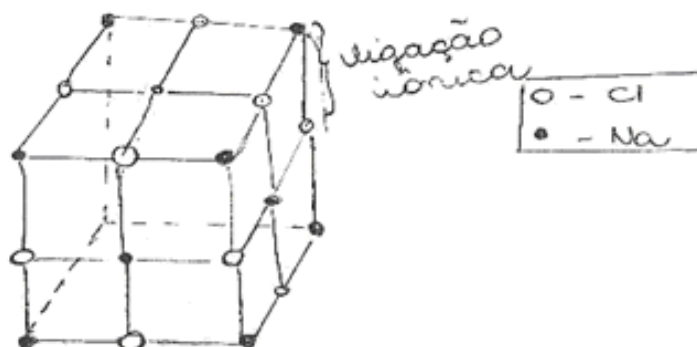


Figura 4.10. Modelo reelaborado por A5G1 para o cloreto de sódio sólido.

Observamos que apenas duas alunas, A3G1 e A2G1, não evidenciaram os tamanhos dos íons, em seus desenhos (figura 4.11), o que justifica termos considerado que ambas utilizaram esse submodo de representação de forma parcial. Na Atividade 5, anterior a esta, tais alunas haviam feito um primeiro desenho que não representava o tamanho relativo dos íons (solução aquosa de NaCl), mas em seguida, destacaram, em outra representação (NaCl sólido), que “o íon Cl^- é menor do que o íon Na^+ ”. A aparente recorrência ao modelo inicial poderia causar estranheza, mas a literatura (Kozma e Russell, 2005) prevê, como destacamos no capítulo 2, que uma pessoa pode apresentar alguns comportamentos associados a um nível mais alto em um contexto e a níveis mais baixos em outros contextos.

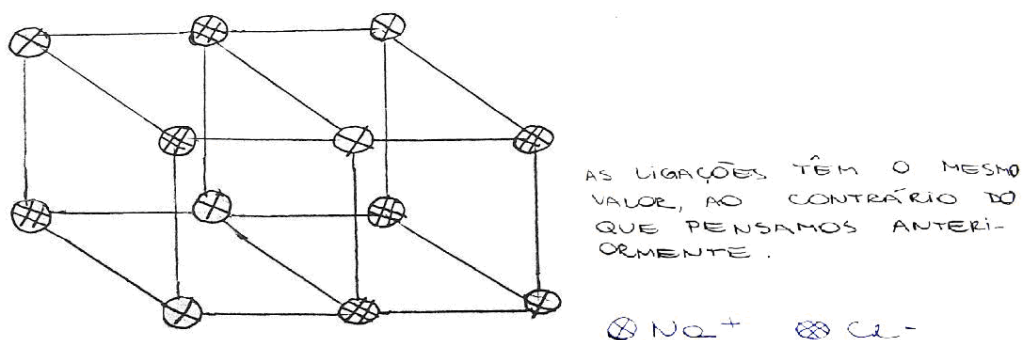


Figura 4.11. Modelo reelaborado por A2G1 para o cloreto de sódio sólido.

O segundo item da segunda questão solicitava que os alunos comparassem seus dois modelos e identificassem que aspectos foram modificados, explicando o motivo da modificação. Todos foram coerentes em suas respostas, justificando a mudança da idéia de “par NaCl” para a idéia de arranjo em que vários íons Na^+ se ligam a vários íons Cl^- , sendo todas as ligações de mesma intensidade (ver desenho de A2G1, figura 4.11).

Enquanto os alunos reformulavam seus modelos, atendendo à solicitação da atividade, a professora se fez presente nos grupos solicitando que eles expusessem suas idéias. As alunas A1G1 e A5G1 disseram à professora, manuseando o modelo construído pelo grupo (figura 4.9), que mudaram de “NaCl molécula” para a idéia de não-molecular. A professora perguntou qual foi o fator mais importante que fez com que o grupo mudasse de idéia. A1G1 disse achar que, na verdade, o grupo não mudou de idéia, pois para eles a molécula é uma convenção que significa que a proporção é 1 para 1. Tentando explicar melhor o que isto significava, A1G1 disse:

“1 Cl, 1 Na, 1 Cl, 1 Na, e é isso para sempre, mas não quer dizer que não tenha uma molécula, sabe?”.

A5G1 manipulou o modelo, mostrando que as entidades que se ligavam eram íons. A professora perguntou por que eles continuavam usando o termo molécula, uma vez que eles entendiam que as partículas constituintes eram íons. A aluna A5G1 deu a entender que era por força do hábito, mas que ela compreendia que as ligações eram entre íons.

Em seguida, a professora pediu aos grupos que descrevessem seus modelos reelaborados para a turma. A aluna A3G1 foi a primeira a expor a nova idéia do grupo: de que havia somente um tipo de interação e não existiam moléculas de NaCl. A1G1 também tomou a palavra, explicando o que a colega queria dizer:

“Na verdade, a gente só tinha feito uma molécula, a gente não tinha feito moléculas numa estrutura mais complexa de várias moléculas. Aí, quando a gente foi juntar as moléculas, da mesma forma que a gente juntou um Na com um Cl, a gente juntou o resto todo.”

Durante a exposição dos modelos dos outros grupos à turma, a mesma aluna fez uma interferência na apresentação do grupo 3, a qual consideramos importante por demonstrar que ela, ao defender sua idéia, apresentava segurança quanto a um elemento de visualização inerente à compreensão da constituição do cloreto de sódio. Isso quer dizer que ela foi capaz de descrever, verbalmente, as entidades (íons, e não moléculas) e as relações entre elas (interações de mesma intensidade entre os íons), na representação elaborada por seu grupo. A interferência ocorreu no momento em que a aluna A2G3 estava explicando o modelo proposto pelo grupo 3, que consistia em “NaCl” se separar de “NaCl” durante a fusão do cloreto de sódio. A professora intermediava a exposição do grupo, a fim de esclarecer o que estava sendo dito. A aluna A5G3 também falou:

“O que deve romper é a interação entre NaCl e NaCl e não entre a molécula de sódio e... é, não entre os átomos (ao ser corrigida pela professora), entre as moléculas, entendeu?”

A professora se voltou para o grupo 1:

Professora: *“Vocês acharam que ia romper o quê, entre as moléculas ou entre os...”*

A1G1: *“Entre átomos de Cl...”*

Professora: *“Na⁺ Cl⁻.”*

A1G1: *“É.”*

Nesse momento, A1G1 questionou o grupo 3 sobre como elas pensaram na ligação entre o Na e o Cl. Este respondeu que havia ligação e interação, e que estas tinham intensidades diferentes:

A1G3: *“A gente pensou assim, que... primeiro a gente pensou só nas moléculas, né, Na ligado com Cl. Aí a gente descobriu que eles eram estáveis. Aí...o que a gente pensou depois? Que cada molécula de NaCl ia se interagir e ...”*

A1G1: *“Eu não perguntei isso, não. Eu perguntei se...”*

A1G3: *“Como que uma molécula ia ligar a outra.”*

- A1G1: *“É. É, como que o Na da molécula, uma coisa mais complexa, o Na ligava no Cl sempre?”*
- A2G3: *“Não sei, a gente não pensou nisso, a gente só pensou que não ia ser igual porque, porque... senão ia separar na hora que fornecesse energia.”*
- A1G1: *“Se o Na e o Cl vão se ligar nessa estrutura mais complexa, por que eles se ligam, numa molécula, com o Na de um jeito e com outra, o Cl de um e o Na de outra vai se ligar de uma forma diferente, se são exatamente...”*
- A1G3: *“É porque a gente pensou assim, a molécula não vai se ligar a outra molécula, ela só vai se interagir. Então, a ligação que há é entre o Na e o Cl...”*
- A6G1: *“A gente tá perguntando é porque que interage ao invés de ligar, se é a mesma coisa.”*
- A1G3: *“Deixa eu falar, calma!”*
- A1G1: *“O que a gente pensou? Vocês pensaram exatamente o oposto da gente, a gente pensou: se é exatamente a mesma coisa, então por que vai ligar de forma diferente?”*
- A1G3: *“Porque olha aqui, é o Na com o Cl, eles já são estáveis, a ligação já está feita, ele não precisa de ligar a mais nada. Só que, o que acontece, mesmo estabilizados em energia e em quantidade de elétrons, eles ainda possuem cargas positivas e negativas. Então, mesmo estáveis, eles ainda possuem cargas que vão atrair as outras cargas positivas ou negativas.”*

A discussão prosseguiria, mas a professora interveio, perguntando aos demais alunos da turma o que eles achavam: se concordavam com o grupo 3, que disse que se separam NaCl e NaCl, ou com o grupo 1, que disse que se separam Na^+ e Cl^- . Todos os grupos questionados concordaram com a aluna A1G1, ou seja, com a separação de íons. A aluna A1G3 pediu a palavra, insistindo em sua idéia e A1G1 insistiu em questioná-la.

A professora interveio novamente, dizendo que seria preciso fornecer mais dados para se chegar a uma conclusão sobre o que seria separado no processo de fusão. Ela foi ao quadro e relacionou energia e estabilidade, se remetendo ao estudo que já havia sido feito na Atividade 3, lembrando que o gráfico poço de potencial

estabelece uma relação entre a maior estabilidade e a menor energia potencial do sistema, o que favorece a ocorrência da ligação. Ela lembrou também que o ponto de menor energia no gráfico corresponde ao estabelecimento da ligação, quando acontece o equilíbrio entre as forças de atração e repulsão entre os átomos. Finalmente, disse que forneceria um dado importante para os estudantes:

Professora: *“É o seguinte: suponhamos 1 mol de íons Na^+ e 1 mol de íons Cl^- , ok? Vamos pensar que esses íons Na^+ e Cl^- vão se atrair através de uma força que vocês já sabem que é chamada de eletrostática e vão levar à formação de 1 mol de pares iônicos. O que eu vou chamar de pares iônicos seria uma denominação mais correta para o que vocês estão chamando de moléculas de NaCl , certo?”*

A3G5: *“Mas isso não é uma molécula, não?”*

Professora: *“Na verdade vocês não sabem o conceito de molécula até então. Eu estou tentando que vocês percebam o não-conceito de molécula, a gente vai chegar a ver que o cloreto de sódio não é. O que vocês estão chamando, que eu coloquei entre aspas (apontando para o quadro), de molécula de NaCl , na verdade eu estou chamando de par iônico, que seria a atração de um cátion com um ânion. Tudo bem? Então, quando 1 mol desses íons interage, formando 1 mol de pares iônicos, que seria isso daqui (apontando para o quadro) ocorre uma liberação de 104,6 kcal/mol. Tudo bem?”*

Ela continuou o raciocínio, fornecendo a energia liberada na formação de um mol da substância NaCl , medida experimentalmente:

“Porém, na formação do NaCl , muito mais energia é liberada: 206 kcal/mol, valor medido experimentalmente. Então, O NaCl não deve ser formado simplesmente através de pares iônicos, deve ter uma estrutura mais complexa, que explique esse valor de energia liberada. Se mais energia é liberada, nos leva a pensar que a substância formada vai ser mais estável. Então, quem é mais estável não é o par iônico, vai ser uma outra estrutura para o cloreto de sódio. Entenderam? Então, considerando esses dados de energia, eu quero que vocês pensem num modelo para o cloreto de sódio. Certo?”

Além disso, a professora lembrou que o cloreto de sódio sólido não conduz eletricidade, mas o faz no estado líquido e no estado aquoso. Ela pediu que os alunos, especialmente àqueles ainda em dúvida, pensassem nesses dados e na energia envolvida na formação do NaCl, para refletir sobre o modelo que haviam elaborado para o cloreto de sódio.

Na seqüência, com base nas informações de energia liberada na formação de 1 mol de NaCl, descritas anteriormente, solicitou-se, na Atividade 7, que os alunos propusessem um modelo para explicar como a atração entre os íons Na^+ e Cl^- resultava na formação do cloreto de sódio (Anexo 8). Pediu-se ainda que eles elaborassem um desenho do modelo construído por seu grupo, explicando algum detalhe por escrito, caso necessário. Os alunos deveriam justificar a escolha do material utilizado (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro). Em outro item, eles foram solicitados a descrever, da maneira mais detalhada possível, todos os passos seguidos para a elaboração de seu modelo. Outra solicitação foi indicar se o modelo construído nessa atividade era apenas uma modificação do modelo construído anteriormente (Atividade 5 ou 6) ou um novo modelo, diferente do anterior, justificando.

Na discussão com o grupo, novamente a aluna A1G1 utilizou gestos, para expressar suas idéias, incluindo, de forma espontânea, objetos concretos no gestual: duas lapiseiras e uma borracha, para ilustrar suas idéias. Nesse momento, consideramos que ocorreu o mesmo que na Atividade 2 (modelo para a cola especial), ou seja, que A1G1 criou uma nova convenção de representação. No caso dessa representação concreta, cada um desses objetos representava um íon e a aluna expôs aos colegas que ela imaginava que o primeiro par de íons que se ligava liberava, nessa ligação, 104,6 kcal, mas que, a cada novo íon que era atraído e se ligava, a energia liberada ia sendo cada vez menor, até que existissem seis cátions para cada ânion, e vice-versa, quando a energia liberada seria de 206 kcal no total. Consideramos, como ocorrido na Atividade 2, que a aluna efetuou a tradução de seu modelo para o modo

concreto e deste para o modo verbal, pois ela explicou, oralmente, o papel de cada um dos objetos em sua representação.

Durante as discussões, o grupo decidiu não construir um modelo concreto (tridimensional), escolhendo o modo bidimensional (desenhos). Eles justificaram esta escolha pela praticidade, pela maior facilidade para desenhar do que para construir um modelo 3D e, por último, pela constatação de que não havia quantidade suficiente de palitos para a representação.

Quatro alunos demonstraram a compreensão das convenções de representação utilizadas em desenhos de estruturas químicas, de forma total, isto é, representaram os íons, seu arranjo e tamanhos relativos coerentemente (figura 4.12). Apenas dois alunos, A3G1 e A2G1 o fizeram de forma parcial: o primeiro trocou o tamanho dos íons na legenda (o que poderia ser atribuído a uma distração, pois na atividade anterior isto não ocorreu) e o segundo desenhou-os utilizando cores diferentes, mas não os diferenciou quanto ao tamanho²⁷ (figura 4.13). Novamente, alunos que apresentaram desempenho total em uma ocasião, apresentaram desempenho parcial em outra. No caso específico dessas duas alunas, tal fato ocorreu pela segunda vez.

Apesar disso, consideramos que todos os alunos do grupo geraram uma representação e explicaram por que ela é apropriada para o propósito, de forma coerente. Consideramos, ainda, que todos eles foram capazes de resolver um novo problema utilizando modelos, uma vez que os desenhos apresentados representam uma estrutura em rede, em que vários cátions se ligam a vários ânions e vice-versa.

²⁷ Em diálogo com a professora, relatado anteriormente, ao serem questionados sobre o tamanho dos íons, os alunos afirmaram que o cátion era menor do que o ânion. Por esse motivo, na análise das representações em que os alunos desenharam os íons, verificamos se eles levaram em consideração seu tamanho relativo.

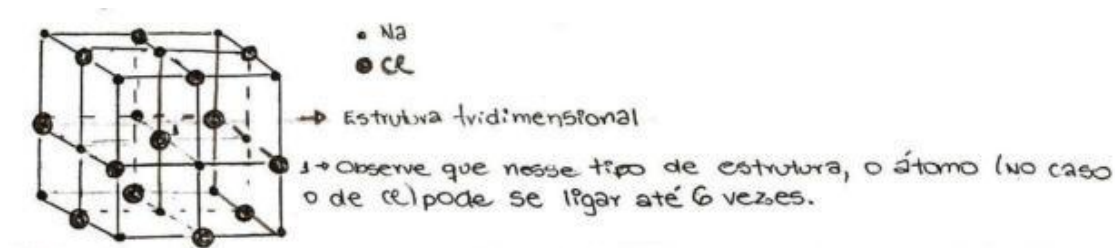


Figura 4.12. Modelo de A1G1 para o cloreto de sódio sólido.

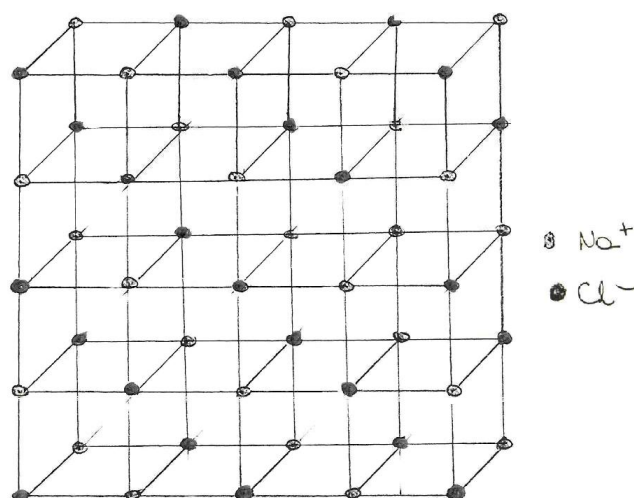


Figura 4.13. Modelo de A2G1 para o cloreto de sódio sólido.

Durante a apresentação dos modelos dos grupos à turma, a professora foi ao quadro e enfatizou que a fórmula NaCl para o cloreto de sódio poderia levar à idéia errônea de par iônico. Ela criticou o ensino de ligação iônica como sendo uma ligação que ocorre “por transferência de elétrons”, como aparece em alguns livros didáticos e chamou a atenção para a fórmula (um tipo de representação simbólica) como uma maneira de conhecer a proporção estequiométrica entre os íons (e não outros aspectos da estrutura da substância).

O grupo expôs seu modelo e foi bastante coerente em sua exposição, sendo fiel ao que já havia concluído na atividade anterior (não existência de “molécula” de NaCl). A análise da atividade escrita corrobora essa afirmação, na medida em que todos os desenhos representam um só tipo de interação entre os íons. Duas alunas, A6G1 e

A5G1, escreveram que todas as ligações têm o mesmo “valor”, referindo-se à intensidade das forças de atração presentes no retículo. A1G1 destacou, por escrito:

“Observe que, nesse tipo de estrutura, o átomo (no caso o de Cl) pode se ligar até seis vezes.” (figura 4.12)

A3G1, por sua vez, demonstrou não estar certa disso ao escrever:

“Não posso afirmar, porém, se o número máximo de ligações será seis, não temos todos os dados necessários.”

Na aula seguinte, fez-se uma retomada dos modelos do cloreto de sódio, como revisão. A professora lembrou as propriedades do NaCl, com a participação dos alunos. Após a explicação de noções básicas de cristalografia de raios X, ela mostrou aos alunos, no retroprojeter, a estrutura do NaCl. Os alunos observaram, ainda, fotos de alguns minerais.

A seguir, a professora propôs a Atividade 8 (Anexo 9). Como a atividade começava com a solicitação de revisão do modelo caso este não explicasse a alta temperatura de fusão do NaCl, o grupo 1 pôde passar diretamente para a questão seguinte, que solicitava que fossem explicadas certas propriedades dos sólidos iônicos (dureza, clivagem, ser quebradiços). Os alunos apresentaram dificuldades para fornecer tais explicações, sendo, então, auxiliados pela professora.

No trabalho escrito, o grupo, de maneira geral, demonstrou capacidade de justificar as propriedades das substâncias iônicas utilizando seu modelo para o cloreto de sódio. Por exemplo, o aluno A4G1 justificou a dureza dos minerais, escrevendo:

“Eles possuem muitas ligações e as ligações são fortes, o pouco movimento dos íons resulta em uma estrutura fixa.”

enquanto A1G1 utilizou uma metáfora ao se referir à mesma propriedade, utilizando, todavia, o termo *átomos* em vez de *íons*, mesmo já tendo demonstrado, anteriormente, ter compreendido o conceito de substância iônica:

“Há muitas ligações entre os átomos e estas são fortes. Como existe forte atração eletrostática, os átomos ficam ‘presos’ (aspas da aluna) em uma determinada posição”.

A2G1 escreveu, sobre o fato de estes serem quebradiços:

“Os íons se movem ao ser aplicada uma força, acontecendo assim a repulsão entre os íons, quebrando os cristais.”,

ao passo que A6G1 explicou a existência de plano de clivagem nos sólidos iônicos da seguinte maneira:

“A estrutura macroscópica reflete a organização da estrutura microscópica e essa é organizada de maneira poligonal.”.

Ao justificar a não maleabilidade dos compostos iônicos, as alunas A1G1 (esta, pela segunda vez, nesta atividade), A5G1 e A6G1 apresentaram uma incoerência em sua resposta, pois falaram em repulsão, mas utilizaram o termo *átomos*, em vez de *íons*. Todos os alunos do grupo escreveram que a estrutura macroscópica do cristal refletia a submicroscópica, sendo a organização das partículas (íons) repetida inúmeras vezes para formar o cristal. Consideramos este momento importante em termos de visualização, pois os alunos demonstraram capacidade de transferência do nível macro para o submicroscópico. A questão 2 se apresentou, portanto, como uma oportunidade de verificar a capacidade de resolver um novo problema, o que os estudantes fizeram, sendo que no item 2b, A1G1, A5G1 e A6G1 apresentaram desempenho parcial, dada a incoerência mencionada a pouco.

A professora propôs, então, que os alunos observassem a tabela na terceira questão da atividade. Nesse momento, pediu que os alunos calculassem a energia de rede pelo método termodinâmico, utilizando dados da Atividade 4 (energia de sublimação do sódio metálico, energia de ionização do sódio, energia de atomização do cloro, afinidade eletrônica do cloro e energia liberada na formação de um mol de cloreto de sódio, a partir de $\text{Na}(s)$ e $\text{Cl}_2(g)$ – ver Anexo 5). Todos os alunos do grupo foram capazes de resolver o problema proposto de maneira coerente, demonstrando

domínio de diversos elementos de visualização: utilização de tabela, símbolos e equações químicas e expressões matemáticas. Além disso, consideramos que houve a devida tradução do modo bidimensional (tabela) para o modo simbólico (expressão matemática), pois os alunos foram capazes de utilizar os dados da tabela para efetuar o cálculo requerido (energia de rede para 1 mol de NaCl), demonstrando-o por meio da utilização de uma expressão matemática. Eles também descreveram, por escrito, as entidades e as relações entre elas na expressão matemática, explicitando que na formação de um mol da rede iônica ocorre a liberação de 787,8 kJ.

Quando a professora mostrou aos alunos, no retroprojetor, as duas diferentes representações para a estrutura cúbica do NaCl (uma com o cubo e as arestas representando os íons e suas interações e a outra mostrando um aglomerado cúbico de íons – figura 3.3) e perguntou à turma se ambas eram válidas para representar o retículo cristalino desse sal, todos responderam imediatamente que sim. Isto nos levou a considerar que eles conseguiram relacionar as diferentes representações e identificaram o que cada uma delas explicitava ou omitia. Isto nos permitiu identificar outros dois elementos relacionados à capacidade de visualização: a capacidade de descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e a capacidade de fazer conexões entre diferentes representações para mapear aspectos de um tipo de representação naqueles de outro, explicando a relação entre eles.

Ao observarem os dados dos raios iônicos do Na^+ e do Cl^- e dos raios atômicos de lítio e cério, e serem questionados se as estruturas do CsCl e do LiCl poderiam ser semelhantes à do NaCl, os alunos concluíram que não, uma vez que o raio do Li^+ é menor do que o raio do Na^+ . Segundo eles, isso faria com que íons de mesma carga (os ânions) ficassem muito próximos uns dos outros no retículo, o que acarretaria aumento das forças de repulsão. Ao considerar a mesma pergunta para o cloreto de cério, eles também responderam que a estrutura teria que ser diferente, pois o Cs^+ é maior do que o Na^+ , o que faria com que aumentasse a repulsão entre os cátions no retículo. As respostas fornecidas pelos alunos, ao comparar a estrutura já conhecida do

cloreto de sódio com o que se poderia esperar para as duas outras, nos levaram a considerar que eles foram capazes de resolver um novo problema com a utilização de uma abordagem baseada em modelos. Além disso, os alunos foram capazes de explicar, de forma oral, como o tamanho dos íons deveria influenciar nas forças de atração e repulsão, e como isso permitia afirmar que as estruturas não poderiam ser iguais.

Quando, afinal, a professora mostrou, na tela, a projeção da estrutura do CsCl (cúbica de corpo centrado), a turma participou vivamente, respondendo à pergunta sobre quantos cátions estão ligados a cada ânion, e vice-versa, em tal estrutura. O mesmo se deu ao serem apresentados à estrutura do sulfeto de zinco, ZnS: os alunos foram capazes de identificar a proporção entre os íons. Por esse motivo, consideramos que eles apresentaram a capacidade de identificar e utilizar as convenções de representação nos desenhos apresentados pela professora.

Na aula que se seguiu, quando os alunos observaram os modelos concretos (bola-e-vareta) de vários cristais iônicos, consideramos que eles demonstraram ter feito relação com os desenhos vistos anteriormente através do retroprojetor, o que pode ser considerado como a tradução do modo 3D (representações feitas de material manipulável) para o modo 2D (desenhos). Acreditamos que, ao manipular esses modelos concretos, os alunos tenham feito tal transferência – apesar de nem todos terem manifestado verbalmente que isto de fato ocorreu – pois eles demonstraram compreender o significado dos modelos.

Ao comparar, a seguir, as temperaturas de fusão dos compostos CsCl e ZnS, cujos valores são 802°C e 2.300°C, respectivamente, os alunos estranharam o fato de tais valores serem muito diferentes um do outro. Como eles haviam observado os modelos concretos para os cristais dessas duas substâncias, buscaram encontrar uma explicação baseada nesses modelos. Ao fazer isto, observaram que, no sulfeto de zinco, cada íon se liga diretamente a quatro outros, enquanto no cloreto de cézio cada íon está ligado a oito mais próximos. A professora chamou a atenção para a diferença

das cargas dos íons envolvidos: a carga é maior nos íons do ZnS, que são bivalentes, o que interfere na força com que estes íons se atraem.

Ao responder a primeira questão do questionário pós-instrução, os alunos consideraram o caso da elaboração do modelo para a estrutura do benzeno (Anexo 10). Os alunos deveriam decidir se houve elaboração mental ou “sorte” por parte de Kekulé, ao propor seu modelo a partir de um sonho.

Todos os alunos do grupo admitiram ter havido uma elaboração mental, sendo que A1G1 afirmou acreditar que o elemento intuição também influenciou nesse processo. A3G1 disse crer no fator sorte, mesmo que este não tenha sido preponderante. Por outro lado, a aluna A6G1 escreveu:

“Não pode ter ocorrido por sorte, não faz sentido se isso tivesse ocorrido apenas por sorte. O cientista veria isso no sonho, mas não faria sentido para ele. É muito mais provável que ele já estivesse pensando nisso há muito tempo. E que o sonho foi mais uma ‘idéia que já estava no subconsciente’.”

Para justificar sua resposta, A2G1 se referiu a uma conhecida analogia, muito utilizada no ensino de ligação metálica:

“Para se criar uma estrutura inédita para uma substância é necessário ter muito conhecimento e prática na área. Outras pessoas podem ter sonhado com mar e nem por isso elaboraram a teoria do ‘mar de elétrons’.”


A afirmação da aluna confirma sua resposta de que houve elaboração mental do cientista para chegar ao modelo proposto para o benzeno. Por isso consideramos que os alunos admitiram serem as representações essencialmente produtos de elaboração inerentes ao trabalho dos cientistas.


Na segunda questão, referente à estrutura do fulereno, em que os alunos eram solicitados a comparar a estrutura proposta para essa substância com uma bola de futebol, todos, exceto A4G1, foram bastante “didáticos” em suas explicações ao colega fictício. Os demais alunos estabeleceram, de maneira coerente, as relações entre a

bola de futebol e a representação da estrutura do fulereno. Consideramos o estabelecimento de tais relações como um elemento de visualização, uma vez que os alunos utilizaram palavras para identificar e analisar aspectos da representação. Além disso, outro elemento presente na capacidade de visualização é a descrição das entidades e das relações entre elas na representação (por exemplo, da natureza das costuras da bola de futebol na citada comparação). Três alunas (A1G1, A3G1 e A6G1) descreveram tal natureza, de forma total, enquanto duas alunas (A2G1 e A5G1) o fizeram de maneira considerada apenas parcial, visto que não especificaram a relação entre as esferas e costuras, nos modelos, e os átomos e suas ligações na entidade modelada. Finalmente, A4G1 demonstrou não apresentar (ou não ter demandado) essa capacidade.

A aluna A1G1 foi a única do grupo a se valer de desenhos em sua exposição:

“Pensando em uma bola de futebol, o fulereno teria sua estrutura

organizada de tal forma que as costuras da bola  *seriam como as ligações entre os átomos. E estes estariam, por sua vez, em cada*

“ponta”, em cada encontro dessas costuras  *. É importante dizer que os átomos não estão de fato amarrados, costurados. Mas que suas posições podem ser visualizadas dessa forma.”*

A aluna demonstrou, em sua resposta, conhecimento de que representações não correspondem à realidade, ao escrever que não há costuras de fato. Em ocasião anterior, relatada na descrição da Atividade 5, a mesma aluna demonstrou essa consciência sobre as representações, ao afirmar que não existiam palitinhos de fato, e que estes apenas *“representavam”* as ligações. Outro fator que aqui consideramos relevante foi a capacidade de traduzir o modo bidimensional (os desenhos) para o modo verbal (a explicação dos mesmos). Além disso, a aluna foi capaz de identificar a analogia na qual o modelo se baseia, coerentemente.

Por outro lado, o aluno A4G1 não explorou a analogia, dizendo apenas que o fulereno tem sessenta carbonos arranjados em uma cadeia de estruturas cíclicas, resultando em uma estrutura esférica, como uma bola de futebol. Consideramos que o aluno não descreveu as entidades e as relações entre elas na representação, o que consistiria em explicar o papel das costuras e dos vértices (ligações e átomos, respectivamente).

Além de A1G1, as alunas A2G1, A3G1 e A6G1, também foram capazes de explorar a analogia em que se baseou o modelo que associa a estrutura do fulereno à figura da bola de futebol. No caso de A2G1, podemos dizer que esta utilizou uma *comparação de mera aparência*²⁸, uma vez que ela escreveu:

“O fulereno parece com uma bola, pois os átomos se organizam de forma que vários hexágonos são formados, resultando em uma estrutura arredondada. Os hexágonos lembram os gomos da bola de futebol e o formato é o mesmo”.

A3G1, por sua vez, escreveu:

“O fulereno é uma substância cuja unidade é constituída por 60 átomos de carbono, que estão organizados em uma estrutura parecida com o desenho na bola de futebol – no canto de cada parte (“retalho”, aspas da aluna) do material, na interseção com outra parte, existe um carbono. Como se em cada vértice do hexágono existisse um carbono, e cada aresta representasse a ligação entre carbonos distintos”,

enquanto A6G1 escreveu:

“Imagine uma bola de futebol, aquelas de couro com inúmeros desenhos de hexágonos. Agora imagine que em cada ponta do hexágono exista um átomo de carbono e que as linhas são as ligações químicas. Uma molécula de fulereno é assim, mas contém 60 carbonos e uma das ligações é dupla já que cada carbono faz 4 ligações”.

²⁸ Comparações de mera aparência são definidas como aquelas em que somente atributos de objeto são compartilhados entre os domínios comparados, ou seja, somente propriedades descritivas são combinadas (Gentner, 1989).

Consideramos que A3G1 e A6G1 utilizaram analogias, pois mapearam relações entre os domínios, ignorando as propriedades descritivas. Os outros dois alunos, A4G1 e A5G1, não exploraram a mencionada analogia.

A outra solicitação da questão era comparar duas ilustrações (figura 4.14), ambas representando o fulereno C_{60} .

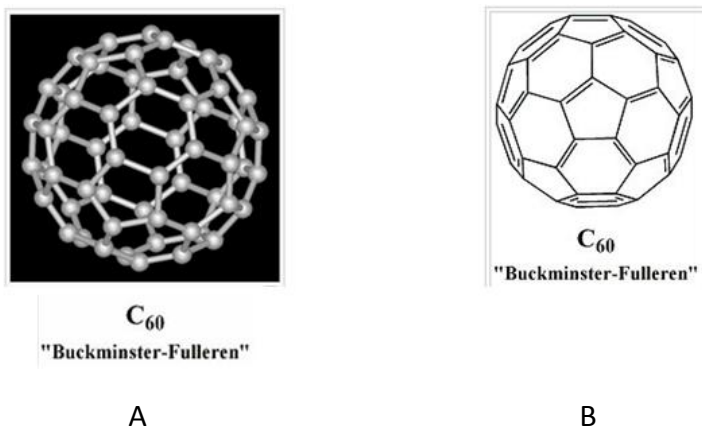


Figura 4.14. Ilustrações presentes na questão 2, item b, do questionário pós-instrução.

Os alunos deveriam identificar pelo menos uma vantagem e uma desvantagem de se utilizar cada uma das representações apresentadas. Os alunos desse grupo, com exceção de A3G1, foram capazes de identificar e utilizar os desenhos, demonstrando ter percebido o que cada uma das representações evidenciava (vantagem) e o que não evidenciava (desvantagem). Entre as vantagens citadas para a representação da figura 4.14A, destacamos: o fato de os átomos ficarem bem evidenciados, podendo ser visualizados (o que não ocorre na figura 4.14B) e de ser uma representação que evidencia três dimensões, apesar de se tratar de um desenho. A aluna A3G1, no entanto, não explicitou tais vantagens, escrevendo apenas que a figura mostra “claramente” como é a estrutura do C_{60} . Todos os alunos, inclusive A3G1, escreveram que a figura 4.14A não diferencia as ligações entre os átomos (duplas e simples).

Ao citar as desvantagens da figura 4.14A, novamente A3G1 deixou dúvidas sobre o que quis dizer a esse respeito, pois escreveu que “*necessita-se de um*

conhecimento prévio, relativamente avançado”, sem indicar que conhecimento seria esse.

Nas respostas desta questão, consideramos também presentes outros elementos de visualização: a capacidade de utilizar palavras para identificar e analisar aspectos das representações (por exemplo, a natureza das esferas em 4.13A) e a capacidade de descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e explicar como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser dito com outra representação. Isto porque os alunos conseguiram perceber que somente a figura 4.13A consegue mostrar a existência de duplas ligações entre os átomos.

Consideramos ainda que os alunos (exceto A3G1) foram capazes de estabelecer conexões entre as duas representações e de mapear aspectos de uma delas naqueles da outra, explicando coerentemente a relação entre eles. Isto porque eles conseguiram identificar aspectos comuns entre as duas representações, ao indicar, por exemplo, que os átomos de carbono explicitados na representação 4.13A estão representados implicitamente pelos “encontros” das linhas na representação 4.13B e que as varetas, na primeira representação correspondem às linhas, na segunda. Essa capacidade também constitui um elemento da visualização, segundo a literatura em que se baseia esta pesquisa.

Na terceira questão do questionário, duas diferentes representações foram apresentadas, sem citar que os desenhos pretendiam representar a estrutura do DNA (figura 4.15).

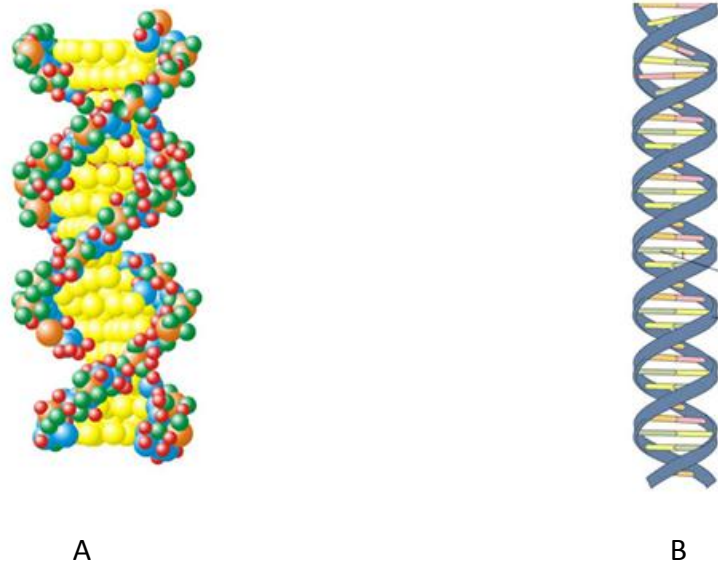


Figura 4.15. Estruturas do DNA presentes na questão 3 do questionário pós-instrução.

Sobre as representações, questionou-se, inicialmente, se os alunos já tinham visto as figuras antes e em que situação. Todos afirmaram ter visto as figuras em variadas situações: aula de Biologia (três alunos, A1G1, A3G1 e A4G1), televisão (um aluno, A1G1), jornais, revistas e livros (cinco alunos, A1G1, A2G1, A3G1, A5G1 e A6G1), filmes e seriados (um aluno, A6G1).

Porém, no item seguinte, um dos alunos, A4G1, afirmou não saber o que as figuras representavam, enquanto todos os outros reconheceram a estrutura do DNA. Essa afirmação de A4G1 é incoerente também com sua resposta ao terceiro item da questão, em que ele relatou reconhecer as “*fitas de DNA*” na figura 4.15B. Este último item solicitava que os alunos citassem os símbolos (ou códigos de representação) que conseguiam identificar em cada uma das figuras, assim como seus respectivos significados. Outra incoerência detectada na resposta de A4G1 é o fato de que ele declarou ter visto as figuras “*no estudo de biologia (citologia/ácidos nucléicos)*”. Isso pode significar que o aluno já teve aulas ou estudou o assunto.

Três alunos, A1G1, A5G1 e A6G1, reconheceram o que alguns códigos de representação significam no modelo do DNA, referindo-se às bases nitrogenadas, às

ligações de hidrogênio e aos grupos fosfato. A julgar pela resposta, eles pareciam já ter conhecimento prévio sobre o assunto. Curiosamente, esses três alunos não coincidem exatamente com os três que declararam ter visto a estrutura em aulas de Biologia (A1G1, A3G1 e A4G1).

A aluna A1G1 foi uma das que declarou conhecer a estrutura de aulas de Biologia, sendo também uma das que reconheceu símbolos na representação, como esperado. Isto pode ser constatado pelo desenho que ela produziu (figuras 4.16A e 4.16B). O reconhecimento de alguns códigos da representação foi coerente com a declaração de A1G1 de que já tinha conhecimento prévio, em aulas.

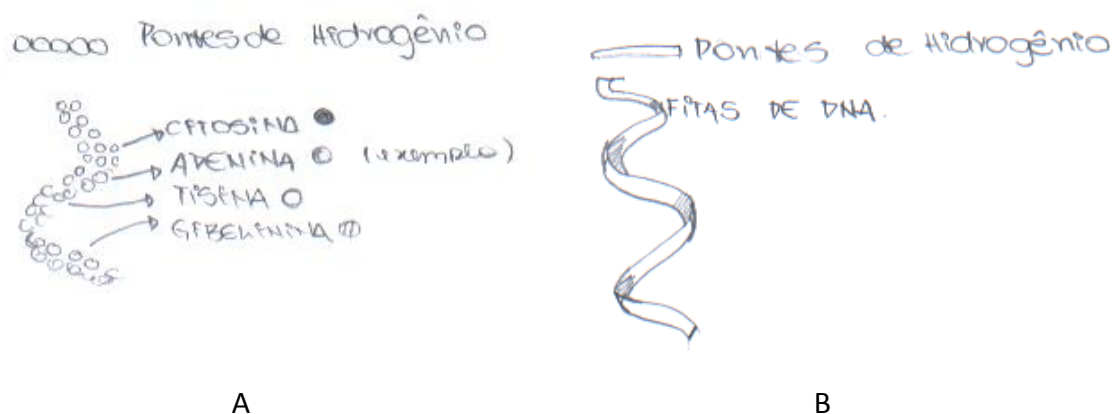


Figura 4.16. Desenho da aluna A1G1 referente ao modelo de partículas (A) e ao modelo de fitas (B).

Consideramos A6G1 também coerente ao reconhecer símbolos nas figuras, mesmo não tendo declarado ter tido aulas a esse respeito, pois em sua resposta ao item *a*, ela disse ter visto as figuras “em filmes, seriados, livros de biologia enfim quando querem representar o DNA”.

A5G1, por sua vez, foi uma das alunas que reconheceu alguns códigos (bases nitrogenadas, grupos fosfato e ligações de hidrogênio).

Outros dois alunos, A2G1 e A3G1, declararam que as bolinhas de cores e tamanhos diferentes (no desenho que mostra partículas – figura 4.15A) representavam os diferentes átomos que formam a estrutura do DNA. Quanto à outra figura, somente

A2G1 se referiu à diferença de cor das fitas como evidência de estruturas diferentes. A3G1 não conseguiu identificar a figura das fitas, o que nos causou estranheza, uma vez que a aluna declarou já ter visto as figuras em livros e aulas de química e Biologia (o que, por outro lado, não significa que ela já tenha estudado o assunto ou, mesmo que sim, que tenha ocorrido aprendizagem).

Ao buscar elementos de visualização nas respostas à questão do DNA, consideramos que três alunos identificaram e utilizaram desenhos, de forma total (A1G1, A5G1 e A6G1). Esses mesmos alunos identificaram e utilizaram descrições das entidades e das relações entre elas nas representações, de forma total. Outro elemento detectado nas respostas desses alunos foi a capacidade de fazer conexões entre as duas representações e mapear aspectos de um tipo de representação naqueles da outra, explicando a relação entre eles, de forma coerente.

Os demais alunos demonstraram esses elementos de visualização de forma apenas parcial (salvo A4G1, que disse não reconhecer o modelo, mas citou o DNA referindo-se à figura das fitas). Consideramos assim porque, ao identificar e utilizar os desenhos, A2G1 e A3G1 se limitaram a observar que diferentes símbolos significavam diferentes átomos sem, no entanto, identificar os mesmos e nem as interações do tipo ligações de hidrogênio.

A quarta questão buscava verificar se os estudantes reconheciam a importância de representações como aquelas apresentadas no questionário, para os cientistas, ao elaborar e comunicar suas idéias (segunda questão de pesquisa deste trabalho). Eles deveriam justificar suas respostas.

Neste grupo, todos reconheceram a importância das representações, tanto para a elaboração, quanto para a comunicação das idéias dos cientistas.

Em suas justificativas, A3G1 e A5G1 utilizaram o termo *visualização*, afirmando que as representações ajudam os cientistas a elaborar suas teorias e a se fazer entender pela comunidade. A aluna A3G1 afirmou que as representações ajudam os cientistas a

“visualizar melhor sua teoria e a observar incoerências e ter novas idéias”, o que “pode resultar numa nova formulação ou melhoria das mesmas” (processo de elaboração).

Quanto à comunicação de tais idéias, a mesma estudante escreveu que:

“ao ‘ilustrar’ (aspas da aluna) teorias, as representações as tornam mais fáceis de ser compreendidas”.

Ainda a respeito da comunicação das idéias, outra estudante, A5G1, escreveu:

“Às vezes, só descrevendo não conseguimos fazer com que as pessoas ‘visualizem’ aquilo que nós estamos propondo.”

A2G1 parece ter percebido por que a “linguagem” das representações é bastante freqüente na divulgação de trabalhos científicos:

“Línguas escritas ou faladas possuem várias barreiras que impedem a disseminação da idéia. A imagem quebra as barreiras, pois todos a vêem, ela não impõe limitações.”

O aluno A4G1 pareceu compartilhar a opinião de A2G1, pois afirmou que figuras como as que foram apresentadas no questionário facilitam a compreensão de certos aspectos que, “em texto”, poderiam ser de difícil compreensão.

A última questão fornecia uma definição de *célula unitária* (a menor unidade de um cristal que possui toda a sua simetria) e afirmava que o cristal inteiro poderia ser gerado pela repetição de sua célula unitária. A questão citava também alguns exemplos de arranjos estudados pelos alunos durante as aulas (cúbico de corpo centrado ou de face centrada e hexagonal compacta). Os alunos deveriam responder de que maneira representariam uma célula unitária, partindo da definição fornecida, justificando sua resposta. A seguir, solicitou-se que eles refletissem sobre a contribuição das atividades de modelagem desenvolvidas nas aulas para que fossem capazes de imaginar como é a estrutura de uma célula unitária e que justificassem a resposta novamente.

As alunas A1G1 e A2G1 elaboraram uma representação coerente de célula unitária. A1G1 fez um desenho (figura 4.17) e escreveu que:

“Um sólido de estrutura cúbica, por exemplo, tem sua célula unitária com formato semelhante ao seu”.

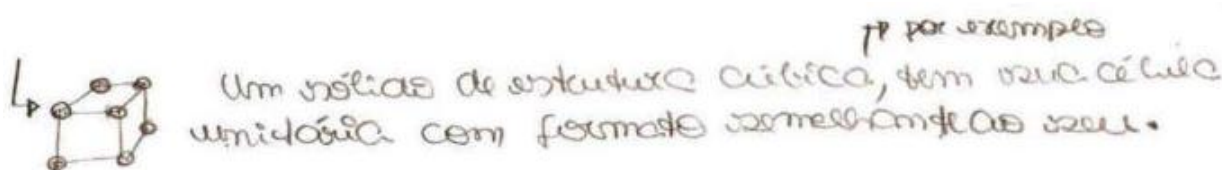


Figura 4.17. Desenho da aluna A1G1 para uma célula unitária.

A2G1 escolheu exemplificar uma célula unitária com o desenho que representa o arranjo cúbico de corpo centrado (figura 4.18), e escreveu:

“Da figura representada pode-se obter todas as características de um pedaço maior. É como se fosse um ‘DNA’”.

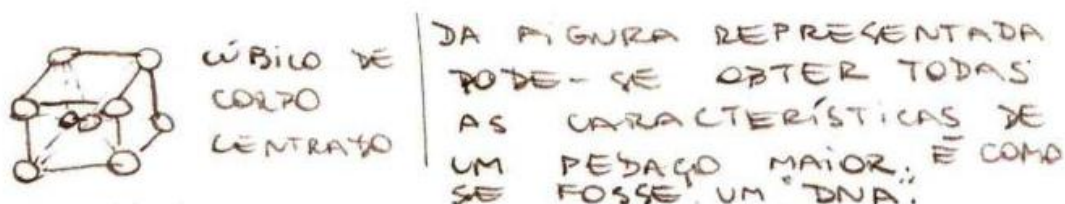


Figura 4.18. Desenho da aluna A2G1 para uma célula unitária.

Consideramos que A2G1 utilizou uma analogia ao justificar a representação do que seria, para ela, uma célula unitária, muito embora o tenha feito de maneira apenas parcial (sem especificar o que havia de semelhante na comparação com o DNA). A aluna afirmou ainda que, como sempre representaram células unitárias nas atividades desenvolvidas nas aulas, os alunos aprenderam no início o que seriam e imaginavam que a estrutura *“só se repetia”*.

Consideramos importante relatar a declaração da professora, de que observou uma dificuldade por parte dos alunos – de maneira geral, não só do grupo 1 – em

compreender a definição de célula unitária. De fato, isto pode ser verificado, por exemplo, na resposta da aluna A3G1:

“Não entendi muito bem o que seria uma célula unitária, mas, de acordo com os modelos conhecidos para substâncias iônicas e o retículo cristalino, pude imaginar que esta seria a menor parte do retículo que representaria uma ligação. Talvez a célula unitária seja apenas um átomo, dependendo da composição do cristal.”

O desenho da aluna (figura 4.19) confirma sua dúvida a respeito do que seria uma célula unitária.

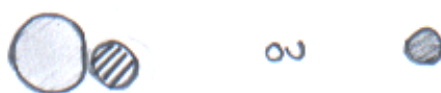


Figura 4.19. Desenho da aluna A3G1 para uma célula unitária.

Outra aluna que demonstrou não ter compreendido bem a definição fornecida no enunciado da última questão (apesar de não haver declarado dificuldade) foi A5G1, que escreveu:

“Como a ligação mínima para que se forme uma grande estrutura (como par iônico, uma única molécula). Porque é o que acontece: existe uma formação mínima que irá se repetir por toda estrutura do cristal.”

Concluimos, ao considerar a declaração de A5G1, que ela não pensou na estrutura, pois citou “par iônico” e “molécula”, apesar de ter associado a idéia de célula unitária a uma “formação mínima”. A aluna não elaborou desenhos que pudessem esclarecer melhor suas idéias.

A aluna A6G1 pareceu ter entendido a definição (apesar de não apresentar desenho algum, que pudesse confirmar essa consideração), pois escreveu:

“Com a menor quantidade possível de átomos o bastante para formar uma estrutura, só com a ligação primordial. Já que quando essa ligação é quebrada não existe mais a ‘célula unitária’, apenas os átomos.”

Por fim, o aluno A4G1 declarou, coerentemente, que a célula unitária poderia ser representada por um desenho ou material tridimensional da menor estrutura ou unidade formadora do cristal. Ele também não apresentou uma representação de sua declaração.

A despeito das prováveis dificuldades citadas, quatro dos alunos deste grupo (A2G1, A3G1, A5G1 e A6G1) declararam que a participação nas aulas em que elaboraram modelos contribuiu muito para que pudessem imaginar a estrutura de uma célula unitária. As declarações desses alunos se relacionam à primeira questão de pesquisa (“Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão dos modos e convenções de representações utilizados em Química?”). Um exemplo:

“A partir das atividades aprendemos a discutir e criticar os fatos e dados obtidos. Criamos possibilidades para nossas idéias e conseguimos resolver problemas que surgiram. Como sempre representamos células unitárias nas aulas, aprendemos no início o que eram. Com isso, imaginávamos que a estrutura só se repetia.” (A2G1)

Os outros dois estudantes, A1G1 e A4G1, disseram que as atividades desenvolvidas contribuíram um pouco. Por exemplo, A1G1, uma das alunas mais participativas do grupo, afirmou: *“50% da criação foi devido às aulas sobre modelos, mas para entendê-los e criá-los é preciso também muita imaginação e abstração”.*

ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO DO GRUPO 1

Considerando os elementos envolvidos na capacidade de visualização enfatizados nesta pesquisa e as categorizações criadas a partir dos mesmos, buscamos analisar os dados do grupo 1, obtidos das gravações das aulas em vídeo e nas atividades escritas e apresentados no estudo de caso.

A partir do estudo de caso, foram produzidos os Quadros 4.1 a 4.7, em que se apresentam as freqüências de cada um dos elementos relacionados à capacidade de visualização considerados nesta pesquisa. As ocorrências de tais elementos serão

comentadas aqui, usando como suporte a descrição do processo, apresentada no estudo de caso.

O Quadro 4.1 apresenta os dados referentes à compreensão das convenções de representação comumente utilizadas em Química²⁹, para todos os modos e submodos de representação, envolvendo todas as três dimensões.

ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO	ATIVIDADES EM QUE FOI OBSERVADO	NÚMERO DE ALUNOS DO GRUPO QUE APRESENTARAM O ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO		
		TOTAL	PARCIAL	NÃO APRESENTARAM
Usar palavras para identificar e analisar aspectos de uma representação	Atividade 5 Questão 2b	6	0	0
	Questionário Questão 2 ^a	5	1	0
	Questionário Questão 2b	5	1	0
Usar palavras para identificar e analisar padrões de aspectos de uma representação	Atividade 4 Questão 1	6	0	0
Identificar e utilizar modelos concretos	Atividade 5 Atividade 6 Atividade 7	6	0	0
Identificar e utilizar Desenhos	Atividade 2	3	3	0
	Atividade 5 Questões 1 e 2b	0	6	0
	Atividade 6	4	2	0
	Atividade 7	4	2	0

²⁹ Embora reconheçamos que há modos de representação, aqui considerados, que não são exclusivos da Química, o foco desta pesquisa é essa disciplina.

	Atividade 8	6	0	0
	Questionário questão 2b	5	1	0
	Questionário questão 3c	3	2	1
Identificar e utilizar Gráficos	Atividade 5	0	0	6
Identificar e utilizar Tabelas	Atividade 4	6	0	0
	Atividade 8	6	0	0
Identificar e utilizar Símbolos químicos	Atividade 3	4	0	0
	Atividade 8	6	0	0
Identificar e utilizar Fórmulas químicas	Atividade 3	4	0	0
	Atividade 8	6	0	0
Identificar e utilizar equações químicas	Atividade 3	4	0	0
	Atividade 8	6	0	0
Identificar e utilizar expressões matemáticas	Atividade 4	6	0	0
	Atividade 8	6	0	0
Descrever as entidades e as relações entre elas em uma representação	Atividade 2	6	0	0
	Atividade 3	3	2	0
	Atividade 5	6	0	0

	Atividade 8	6	0	0
	Questionário Questão 2ª	3	2	1
Explorar as metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia	Atividade 2	3	0	3
	Atividade 5 Questão 5	0	6	0
	Atividade 8 Questão 2ª	1	0	0
	Questionário Questão 2ª	4	0	2
	Questionário Questão 5		1	

Quadro 4.1. Compreensão das convenções de representação comumente utilizadas em Química, para todos os modos e submodos de representação envolvendo todas as três dimensões.

Um importante elemento da *metavisualização* é a capacidade de usar palavras para identificar e analisar aspectos de uma representação (por exemplo, a vareta, num modelo do tipo bola-e-vareta). As atividades em que verificamos a ocorrência de tal capacidade (Quadro 4.1) foram a Atividade 5 e as questões 2a e 2b do Questionário pós-instrução. Na primeira delas, todos os alunos foram capazes de justificar, por escrito, o material escolhido para a elaboração de um modelo concreto e de explicar a razão das cores e formas diferentes empregadas na representação. Na apresentação do modelo à turma, essa capacidade foi também verificada, a despeito das concepções alternativas (idéia de “NaCl molécula”) apresentadas pelo grupo. Tais ocasiões decorreram da escolha feita, pelo grupo, do modo de representação por meio do qual expressaram seu modelo mental. A Atividade 5 solicitava a construção de um modelo concreto, mas a seleção do material ficou a cargo do grupo. Considerando o Questionário pós-instrução, percebemos, nas questões 2a e 2b desse instrumento, que cinco alunos demonstraram tal capacidade, de forma coerente, enquanto A4G1 o fez de forma apenas parcial, pois não identificou explicitamente os aspectos da

representação do fulereno, a fim de explicar a comparação (com a bola de futebol) ao colega fictício.

A capacidade de usar palavras para identificar e analisar padrões de aspectos de uma representação foi verificada somente na Atividade 4, que solicitava que os alunos observassem uma tabela contendo os valores para a 1ª energia de ionização e para a afinidade eletrônica dos 20 primeiros elementos químicos, a fim de propor um modelo que explicasse a formação de íons. Todos os alunos foram capazes de analisar e identificar os padrões da tabela, associando a menor energia de ionização e a menor afinidade eletrônica à tendência em formar cátions e vice-versa.

No que concerne às convenções de representação comumente utilizadas na ciência, consideramos, nesta pesquisa, os modos concreto (tridimensional), visual (bidimensional), simbólico e verbal³⁰. Entendemos que a capacidade de identificação e utilização destas convenções é um elemento da *metavisualização*.

Primeiramente, nas situações em que se mostrou necessário, os alunos foram capazes de identificar e utilizar representações tridimensionais. Na Atividade 5, elaboraram modelos concretos para o cloreto de sódio sólido e em solução aquosa. Tais modelos foram reelaborados nas Atividades 6 e 7, sendo que, nesta última, o grupo preferiu utilizar desenhos, por causa da praticidade desta representação, por acreditar que ela seria suficiente para expressar suas idéias, e devido ao pouco material disponível (faltaram palitos). A utilização de desenhos, em vez de modelos feitos de material manipulável, ocorreu por opção (e não por incapacidade) do grupo. Por isso, consideramos que o grupo tenha sido capaz de utilizar o modo concreto, de forma total, mesmo na Atividade 7. Por outro lado, contabilizamos, também, a capacidade de utilizar desenhos para a Atividade 7, como especificado a seguir, pois em tal questão havia uma solicitação para que os alunos fizessem um desenho do modelo construído pelo grupo. As ocasiões mencionadas se referem às modificações

³⁰ O modo gestual, que compreende a utilização de movimentos do corpo ou partes dele, não foi aqui considerado devido ao fato de não ter ocorrido esse tipo de representação durante a coleta de dados.

que os alunos precisaram fazer em seu modelo quando novos elementos lhes foram apresentados. Essa é uma etapa inerente ao processo de modelagem, que consiste na reformulação do modelo inicial, quando se constata que este não é coerente com esses novos elementos.

No tocante às representações bidimensionais, que incluem gráficos, diagramas, desenhos e tabelas, apresentaremos os resultados para cada um destes modos de representação. As representações bidimensionais de estruturas químicas (desenhos) e a capacidade de identificá-los e utilizá-los ocorreram em várias atividades. Na Atividade 2, todos os alunos demonstraram esta capacidade, mas três deles (A3G1, A5G1 e A6G1) elaboraram representações híbridas, ou seja, não se ativeram ao nível submicroscópico, como solicitado. Na Atividade 5, não ocorreram representações híbridas, mas todos os alunos tiveram um desempenho parcial porque não consideraram a existência de interações íon-molécula na solução aquosa de cloreto de sódio, além de terem apresentado a idéia, anteriormente mencionada, de moléculas de NaCl. Nas atividades seguintes envolvendo desenhos, Atividades 6 e 7, que envolviam a reformulação, se fosse o caso, do modelo inicial, o desempenho do grupo melhorou em relação aos anteriores, nessa categoria. Quatro dos alunos demonstraram capacidade total de utilizar desenhos, e os outros dois, A2G1 e A3G1, demonstraram capacidade parcial nesse quesito porque não evidenciaram ou trocaram os diferentes tamanhos dos íons Na^+ e Cl^- . Na Atividade 8, quando a professora projetou na tela as representações bidimensionais para o CsCl e para o ZnS, houve manifestação geral da turma, não especificamente do grupo 1, momento em que consideramos que os alunos demonstraram compreender (ou seja, utilizar) desenhos, de forma total. No Questionário pós-instrução, questão 2b, todos, exceto A3G1, foram plenamente capazes de identificar, nos dois desenhos fornecidos, o mesmo composto, fulereno, e de utilizá-los para comparar as diferentes representações. Nesse quesito, A3G1 forneceu uma resposta inconclusiva, pois não foi clara em relação ao que quis dizer, ao fazer comparações entre as duas representações para a substância. Na questão 3c do mesmo instrumento, somente três alunos (A1G1,

A5G1 e A6G1) demonstraram capacidade total. Dois outros, A2G1 e A3G1, demonstraram capacidade parcial, o que concluímos com base no fato de que, embora tenham reconhecido a representação do DNA, não conseguiram identificar os símbolos e as interações do tipo ligações de hidrogênio. Um dos alunos, A4G1, afirmou não reconhecer o modelo, mas citou o DNA referindo-se à figura das fitas. Não foi possível concluir se o aluno reconheceu, ou não, a representação, mas ele não utilizou os desenhos de maneira condizente com o que se considera elemento da capacidade de visualização, nesta pesquisa.

Podemos afirmar que, na Atividade 5, os alunos não demonstraram capacidade de utilizar gráficos, ocasião em que se esperava que o fizessem. Apesar de não ter sido explicitamente fornecido ou mencionado na atividade, o gráfico de poço potencial já havia sido apresentado à turma, pela professora, em ocasião descrita anteriormente. Nenhum dos alunos se remeteu ao citado gráfico, a despeito de o mesmo ser útil para explicar o que era solicitado, ou seja, a formação de ligação, e de esses alunos terem demonstrado tê-lo entendido anteriormente. No Quadro 4.1, registramos que os alunos “não apresentaram” o elemento considerado (identificar e utilizar gráficos), a fim de simplificar o registro desse resultado. No entanto, não se pode afirmar, de fato, que os alunos não conseguiram identificar e utilizar gráficos, uma vez que eles podem até ter feito isto mentalmente, mas sem explicitar.

A verificação da capacidade de identificar e utilizar tabelas ocorreu em duas ocasiões: quando os alunos participaram das Atividades 4 e 8. Em ambas, todos os alunos apresentaram capacidade total, utilizando adequadamente os dados das tabelas para explicar a formação de íons e da substância NaCl e efetuar os cálculos de variação energética solicitados.

São consideradas representações simbólicas os símbolos, fórmulas e equações químicas e as expressões matemáticas. A capacidade de identificar e utilizar os três primeiros pôde ser verificada nas Atividades 3 e 8. Na primeira delas, quatro alunos demonstraram ser capazes de utilizar essas formas de representação, de maneira

coerente, sendo que o aluno A4G1 estava ausente e A3G1 não utilizou representações simbólicas. Na Atividade 8, contudo, todos demonstraram coerência ao utilizar tal modo representacional. A Atividade 4, por sua vez, nos permitiu verificar a capacidade de visualização que diz respeito às expressões matemáticas, que foram corretamente empregadas por todos para a resolução dos cálculos necessários, o mesmo tendo ocorrido na Atividade 8.

Finalmente, verificamos as representações verbais (escritas ou orais), que consistem em descrever as entidades e as relações entre elas em uma representação, e em explorar as metáforas e analogias nas quais o modelo se baseia. Na Atividade 2, todos os alunos demonstraram capacidade de descrição das entidades presentes no modelo que elaboraram, mas apenas três deles (A1G1, A3G1 e A6G1) utilizaram analogias na expressão verbal de seus modelos para a cola. No entanto, nenhum dos alunos conseguiu explicar o tipo de interação que acontece entre as partículas e que justifica a cola colar. Na Atividade 3, em que A4G1 esteve ausente, três alunos utilizaram palavras para explicar a formação do óxido de magnésio, enquanto dois alunos, A5G1 e A6G1, demonstraram parcialmente esta capacidade. A5G1 usou o termo *elementos*, quando deveria escrever *átomos* e A6G1 afirmou que a energia necessária para que a reação acontecesse provinha da combustão do magnésio. Os resultados obtidos na Atividade 5 permitiram analisar as idéias dos alunos não apenas de forma escrita, mas também oralmente, pois eles apresentaram o modelo elaborado para a turma. Na apresentação, que foi coerente com as respostas escritas, os alunos disseram acreditar em diferentes magnitudes das forças presentes no cloreto de sódio sólido: interações mais fortes entre os átomos (íons) e mais fracas entre as “moléculas”. Somente a aluna A6G1 discordou do grupo, afirmando que só existia um tipo de interação no cloreto de sódio. Ao apresentar seu modelo, apesar da concepção alternativa apresentada, o grupo foi capaz de descrever as entidades presentes no mesmo, indicando à turma o que cada uma das bolinhas e os palitinhos que as uniam representavam. O mesmo ocorreu na atividade escrita.

A última questão da Atividade 5 pretendia favorecer o estabelecimento da relação entre estabilidade e abaixamento de energia, como mencionado anteriormente. Nesta questão, os alunos utilizaram metáforas, de maneira parcial, ao discorrer sobre a estabilidade da substância cloreto de sódio em relação a seus constituintes originais. Tal desempenho foi considerado parcial, pois, apesar de as metáforas terem sido selecionadas, estas não eram adequadas ao que se pretendia explicar.

A Atividade 8 exigiu intervenção da professora, que precisou ir ao quadro a fim de fornecer subsídios aos alunos. Após os devidos esclarecimentos, os alunos foram totalmente capazes de compreender e verbalizar, por escrito, explicações coerentes que justificam que os cristais iônicos sejam duros, quebradiços e que possuam plano de clivagem, descrevendo as entidades e suas relações (íons e interações). Na questão 2b, apenas dois alunos (A5G1 e A6G1) escreveram *átomos*, em vez de *íons*. Devido ao fato de essa confusão entre átomo e íon ter sido recorrente, analisando as questões em que ela ocorreu, acreditamos que o mais provável seja que os alunos sabiam a diferença entre estes dois conceitos, mas que os tenham utilizado indiscriminadamente, por força do costume. Essa conclusão se baseou, ainda, na análise das respostas dos alunos, pois, apesar de usarem o termo inadequadamente, eles mencionaram a existência de cargas e a existência de repulsão entre elas, ocasionando quebra do cristal iônico. No item *a* da questão 2, ainda na Atividade 8, apenas A1G1 fez uso de uma metáfora (átomos “*presos*”), de maneira coerente, ao justificar a dureza dos sólidos iônicos. Finalmente, a questão 2a do Questionário pós-instrução também favoreceu este elemento de visualização (verbalização, tanto das entidades quanto das metáforas ou analogias presentes na representação). Nesta questão, três alunos (A1G1, A3G1 e A6G1) tiveram desempenho total, ou seja, foram coerentes em sua resposta, descrevendo as entidades e suas relações na representação do fulereno, mas dois deles, A2G1 e A5G1, por não terem especificado a representação das ligações entre os átomos, tiveram suas respostas classificadas como evidenciando desempenho parcial. Ainda nessa questão, um aluno, A4G1, não

foi capaz de descrever entidades presentes na representação. Quanto a explorar as analogias presentes na representação, quatro alunos (A1G1, A2G1, A3G1 e A6G1) o fizeram, de forma coerente, enquanto os demais não utilizaram analogias ao comparar o fulereno a uma bola de futebol. Na questão 5 do Questionário pós-instrução, A2G1 explorou uma analogia de maneira parcial, comparando a célula unitária a um “DNA”, sem explicitar em que esta analogia se baseava.

O Quadro 4.2 apresenta os dados referentes à capacidade de traduzir um dado modelo entre os modos e submodos nos quais ele pode ser apresentado, ao se fazer comparações entre diferentes representações.

ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO	ATIVIDADES EM QUE FOI OBSERVADO	NÚMERO DE ALUNOS DO GRUPO QUE APRESENTARAM O ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO		
		DE FORMA COERENTE	DE FORMA PARCIAL	NÃO APRESENTARAM
Descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e explicar como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser dito com outra representação.	Questionário Questão 2b	5	1	0
	Atividade 8	6	0	0
Fazer conexões entre diferentes representações, para mapear aspectos de um tipo de representação naqueles de outro (por exemplo, ao comparar desenhos com	Atividade 5 Questão 2b	6	0	0
	Atividade 8	6	0	0
	Questionário Questão 2b	5	1	0

modelos concretos) e explicar a relação entre eles.	Questionário Questão 3c	3	2	1
---	-------------------------	---	---	---

Quadro 4.2. Capacidade de traduzir um dado modelo entre os modos e submodos nos quais ele pode ser apresentado, ao se comparar diferentes representações.

Em relação a esta capacidade, esperava-se que os alunos:

- conseguissem descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e que explicassem como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser dito com outra; e
- fossem capazes de fazer conexões entre diferentes representações, para mapear aspectos de um tipo de representação naqueles de outro (por exemplo, ao comparar desenhos diferentes, ou desenhos com modelos concretos).

Na questão 2b da Atividade 5, todos os alunos fizeram um desenho do modelo concreto elaborado pelo grupo, o que indica terem feito conexão entre as duas representações. Além disso, mapearam os aspectos da representação tridimensional que estavam presentes na representação bidimensional, pois os desenhos apresentaram legendas que esclareciam a transição entre os modos tri e bidimensional. Na Atividade 8, quando a professora apresentou as representações concretas do CsCl e do ZnS, para a turma, esta se manifestou de maneira geral, indicando que os estudantes, incluindo os do grupo 1, conseguiram fazer conexões coerentes, entre as representações projetadas na tela e aquelas representadas pelos modelos concretos. Na questão 2b do Questionário pós-instrução, cinco alunos conseguiram estabelecer as conexões entre as representações, comparando-as a fim de mapear as vantagens e desvantagens de cada uma, além de sinalizar o que achavam que cada representação podia e não podia dizer. Porém, a aluna A3G1 conseguiu desempenho parcial nesta questão, pois sua resposta apresentou alguns

termos cujo significado não foi possível compreender. O mesmo ocorreu quanto ao que se considera, neste trabalho, relacionado à descrição de como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes maneiras e à explicação de como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser dito com outra representação, pois, novamente, A3G1 não foi clara ao indicar o que cada uma das representações explicitava (ou não). Na questão 3 do mesmo instrumento, no item que solicitava que os alunos citassem os códigos de representação que identificaram nas figuras que representavam o DNA, três alunos (A1G1, A5G1 e A6G1) fizeram conexões entre as representações, de forma coerente, dois alunos (A2G1 e A3G1) de forma parcial e o outro, A4G1, não conseguiu fazê-las.

No Quadro 4.3, apresentamos os dados referentes à capacidade de traduzir os modos e submodos de representação, tomados dois a dois.

Apresentamos, a seguir, uma síntese dos resultados em que se consideraram tais traduções (Quadro 4.3). As traduções que não ocorreram, mesmo quando o esperado seria que ocorressem, não serão citadas. A tradução do modo tridimensional para o bidimensional ocorreu em três atividades (5, 6 e 8), quando os todos os alunos relacionaram modelos concretos com desenhos. Nas duas primeiras, isto ocorreu quando os alunos formularam o modelo para o NaCl sólido (Atividade 5) e o reformularam (Atividade 6). Na Atividade 8, isto ocorreu quando a professora apresentou modelos concretos, após ter mostrado desenhos no retroprojetor, ocasião em que toda a turma se manifestou, conforme relatado anteriormente. O modo tridimensional também foi devidamente traduzido para o modo verbal, nas Atividades 5 e 2, pois todos os alunos do grupo descreveram as entidades e as relações entre elas no modelo concreto elaborado por eles, por escrito e oralmente, ao apresentá-lo para a turma (no caso da Atividade 5) e três alunos (A1G1, A3G1 e A5G1) criaram um novo modo de representação, que consideramos concreto (utilizando objetos escolares) e o explicaram aos colegas do grupo (no caso da Atividade 2).

TRADUÇÃO ENTRE OS MODOS E SUBMODOS DE REPRESENTAÇÃO	ATIVIDADES EM QUE FOI OBSERVADA	NÚMERO DE ALUNOS DO GRUPO QUE APRESENTARAM A CAPACIDADE DE TRADUÇÃO
Concreto → desenhos	Atividade 5, Questão 2b	6
	Atividade 6	6
	Atividade 8	6
Concreto → descrição entidades (escrita e oral)	Atividade 2	3
	Atividade 5	6
Tabelas → descrição entidades (escrita)	Atividade 4	6
Tabelas → expressões matemáticas	Atividade 4	6
	Atividade 8	6
Desenhos → descrição entidades (escrita)	Atividade 2	6
	Questionário, Questão 2a	5
Desenhos → exploração analogias (escrita)	Atividade 2	3
	Questionário, Questão 2a	4
Símbolos químicos → descrição entidades (escrita)	Atividade 3	4
Fórmulas químicas → descrição entidades (oral)	Atividade 5	6
Fórmulas químicas → descrição entidades (escrita)	Atividade 3	4
Equações químicas → descrição entidades (escrita)	Atividade 3	4
Expressões matemáticas → descrição entidades (escrita)	Atividades 4	6
Modo macroscópico → Modo submicroscópico	Atividade 8, Questão 2	6

Quadro 4.3. Capacidade de traduzir os modos e submodos de representação.

Partindo-se do modo bidimensional, vários submodos de representação foram contemplados nas respostas dos alunos. Na análise de tabelas, por exemplo, a Atividade 4 permitiu verificar que houve a tradução para o modo verbal, pois todos os alunos descreveram entidades e suas relações na representação. Isto significa que todos foram capazes de interpretar os dados das tabelas e utilizá-los para explicar o

que a atividade solicitava (relacionar valores de energia de ionização e afinidade eletrônica com a tendência de se formar cátions e ânions, isto é, propor um modelo que explicasse a formação de íons). Nesta mesma atividade, assim como na Atividade 8, a tradução tabelas → expressões matemáticas também foi observada quando todos utilizaram corretamente os dados das tabelas para efetuar cálculos, os quais foram explicitados por meio de expressões matemáticas.

Tendo ainda como referência as representações bidimensionais, na Atividade 2, todos os alunos conseguiram traduzir seu desenho para o modo verbal, demonstrando ser capazes de descrever entidades, enquanto três deles (A1G1, A3G1 e A6G1) exploraram metáforas presentes em seus modelos bidimensionais (desenhos), elaborados para explicar o “funcionamento” de uma determinada cola. No Questionário pós-instrução, somente um aluno, A4G1, não apresentou a capacidade de descrição das entidades presentes no modelo, na questão 2a, enquanto quatro deles exploraram analogias, nesta questão.

Finalmente, considerando as representações simbólicas, verificamos a tradução deste modo representacional para o verbal em três atividades (3, 4 e 5). Nem todos os alunos foram bem sucedidos nestas, e as traduções que ocorreram foram de símbolos, fórmulas, equações químicas e expressões matemáticas para a descrição das entidades e suas relações na representação. Na Atividade 3 (em que A4G1 estava ausente), a aluna A3G1 não utilizou símbolos, fórmulas ou equações químicas, enquanto os demais o fizeram de maneira coerente. Na Atividade 4, todos os componentes do grupo tiveram desempenho satisfatório, ao traduzir entre os modos representacionais citados (expressões matemáticas para verbal). Quanto à Atividade 5, ocorreu manifestação oral espontânea de A5G1 sobre a fórmula NaCl, durante a apresentação do modelo à turma, com a anuência dos outros membros do grupo, o que nos levou a considerar desempenho total de todos os seus componentes.

Finalmente, houve uma tradução entre os modos macroscópico e submicroscópico, quando os estudantes, na segunda questão da Atividade 8,

explicaram a clivagem, dureza etc., dos sólidos iônicos, utilizando como suporte o modelo do cristal de NaCl elaborado pelo grupo.

No Quadro 4.4, apresentamos os dados referentes à capacidade de criar novas convenções de representação.

ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO	ATIVIDADES EM QUE FOI OBSERVADO	NÚMERO DE ALUNOS DO GRUPO QUE APRESENTARAM O ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO
Criar novas convenções de representação	Atividade 2	3
	Atividade 7	1

Quadro 4.4. Capacidade de criar novas convenções de representação.

Em dois momentos do processo de ensino de ligação iônica, Atividades 2 e 7, componentes do grupo se utilizaram de objetos escolares (régua, borracha, lápis etc.) para expressar o modelo que tinham em mente. Na Atividade 2, A1G1, A3G1 e A5G1 procederam da maneira descrita e, na Atividade 7, apenas A1G1 o fez. Em ambas as ocasiões, estavam ocorrendo discussões, no grupo, a fim de propor modelos explicativos para a cola, no primeiro caso, e para justificar a energia envolvida na formação de cloreto de sódio, no segundo caso. Nestas ocasiões, consideramos que houve criação de uma nova convenção de representação, outro elemento presente na capacidade de visualização (Quadro 4.4).

O Quadro 4.5 apresenta os dados relativos à capacidade de construir uma representação em qualquer modo ou submodo adequado a um determinado propósito.

ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO	ATIVIDADES EM QUE FOI OBSERVADO	NÚMERO DE ALUNOS DO GRUPO QUE APRESENTARAM O ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO			
		DE FORMA COERENTE	DE FORMA PARCIAL	NÃO APRESENTARAM	APRESENTARAM, MAS NÃO EXPLICARAM
Gerar ou selecionar uma representação e explicar por que ela é apropriada para um determinado propósito.	Atividade 2	5	1	0	0
	Atividade 3	4	1	0	0
	Atividade 4	6	0	0	0
	Atividade 5 Questão 1	0	0	0	6
	Atividade 5 Questão 2b	0	6	0	0
	Atividade 5 Questão 2d	0	6	0	0
	Atividade 6	6	0	0	0
	Atividade 7	6	0	0	0

Quadro 4.5. Capacidade de construir uma representação em qualquer modo ou submodo adequado a um determinado propósito.

Na Atividade 2, todos os alunos geraram representações coerentes, exceto A6G1, que apresentou incoerência em sua resposta. Na Atividade 3, apenas um deles (novamente A6G1) apresentou uma representação parcialmente coerente, enquanto os demais conseguiram gerar representações e justificá-las de acordo com o solicitado, exceto A4G1, ausente nessa aula. Nas Atividades 4, 6 e 7, todos os componentes do grupo demonstraram capacidade total, ou seja, foram coerentes ao gerar ou selecionar uma representação, além de explicar por que a mesma era adequada ao que se propunha. Porém, nas questões 1, 2b e 2d da Atividade 5, nenhum dos alunos

demonstrou tal capacidade de maneira total, ou porque não eles explicaram o motivo pelo qual sua representação era adequada, ou porque o fizeram de forma apenas parcialmente coerente.

O Quadro 4.6, apresenta os dados referentes à capacidade de resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos.

ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO	ATIVIDADES EM QUE FOI OBSERVADO	NÚMERO DE ALUNOS DO GRUPO QUE APRESENTARAM O ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO		
		DE FORMA COERENTE	DE FORMA PARCIAL	NÃO APRESENTARAM
Resolver novos problemas, com a utilização de representações adequadas	Atividade 6	6	0	0
	Atividade 7	6	0	0
	Atividade 8 questão 2 ^a	6	0	0
	Atividade 8 questão 2b	3	3	0
	Atividade 8 questão 2c	6	0	0
	Atividade 8 questão 3	6	0	0

Quadro 4.6. Capacidade de resolver novos problemas, utilizando uma abordagem baseada em modelos.

A capacidade de resolver novos problemas, por meio de uma abordagem baseada em modelos consiste em utilizar representações para solucionar novas situações propostas. De acordo com o Quadro 4.6, as ocasiões em que todos os estudantes foram capazes de resolver novos problemas, utilizando modelos, foram: Atividades 6, 7, e 8. Nesta última, três alunas (A1G1, A5G1 e A6G1) demonstraram esta capacidade parcialmente, pois empregaram indevidamente o termo *átomos*, ao invés de *íons*. Acreditamos que a resolução de novos problemas se relaciona ao processo de modelagem, no sentido de considerar a abrangência do modelo, pois, nas atividades

citadas, os alunos buscaram selecionar explicações com base no modelo que haviam elaborado.

Finalmente, o Quadro 4.7 apresenta os dados referentes à capacidade de reconhecer a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas.

ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO	ATIVIDADES EM QUE FOI OBSERVADO	NÚMERO DE ALUNOS DO GRUPO QUE APRESENTARAM O ELEMENTO ENVOLVIDO NA CAPACIDADE DE VISUALIZAÇÃO		
		DE FORMA COERENTE	DE FORMA PARCIAL	NÃO APRESENTARAM
Reconhecer a importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas	Questionário questão 4	6	0	0

Quadro 4.7. Reconhecimento da importância dos modelos na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas.

O tema da segunda questão desta pesquisa (“Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão do papel de representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico?”) foi contemplado no Questionário pós-instrução. Na questão 4, todos reconheceram a fundamental importância dos modelos para a Ciência e o papel facilitador que estes desempenham na atividade científica (Quadro 4.7).

RESULTADOS E ANÁLISE DAS ENTREVISTAS

Como descrito no Capítulo 3, em que se apresenta o desenho metodológico da pesquisa, foram feitas entrevistas abertas (qualitativas) e semi-estruturadas com alguns dos estudantes da turma que participou desta pesquisa.

O grupo 1, a respeito do qual foi feito o estudo de caso apresentado neste trabalho, teve três estudantes entrevistados: A1G1, A2G1 e A4G1. A análise das entrevistas desses alunos foi realizada buscando identificar aspectos das mesmas que possam contribuir para a interpretação feita a partir dos dados escritos e filmados. No entanto, apresentamos também a análise das entrevistas dos demais estudantes, por acreditarmos ser relevante para corroborar a afirmação de que o processo vivenciado pelo grupo 1 pode representar o processo vivenciado pelos outros grupos. O Quadro 4.8 apresenta a lista com os códigos dos estudantes que foram selecionados, em cada um dos grupos, segundo os critérios mencionados. O quadro traz, ainda, o número de entrevistas feitas com cada um dos estudantes, e as ocasiões em que as mesmas aconteceram.

GRUPO	ALUNO	NÚMERO DE ENTREVISTAS	OCAÇÃO EM QUE AS ENTREVISTAS OCORRERAM
G1	A1G1	2	Durante a instrução
			Depois do Questionário pós-Instrução
	A2G1	2	Durante a instrução
			Depois do Questionário pós-Instrução
	A4G1	1	Durante a instrução
	G2	A1G2	1
A3G2		1	Depois do Questionário pós-Instrução
G3	A2G3	2	Depois da instrução
			Depois do Questionário pós-Instrução
	A4G3	1	Durante a instrução
G4	A2G4	2	Durante a instrução
			Depois do Questionário pós-Instrução
	A5G4	2	Durante a instrução
			Depois do Questionário pós-Instrução
G5	A3G5	1	Durante a instrução
	A4G5	1	Durante a instrução
G6	A1G6	1	Durante a instrução
	A2G6	1	Depois do Questionário pós-Instrução
	A3G6	1	Depois do Questionário pós-Instrução
	A4G6	1	Depois do Questionário pós-Instrução
	A5G6	1	Durante a instrução

Quadro 4.8. Alunos selecionados para entrevistas e seus grupos.

As entrevistas ocorridas durante a instrução se iniciavam buscando as idéias gerais dos estudantes a respeito de modelos. Ao abordar o processo de modelagem vivenciado nas atividades, a entrevistadora perguntava aos alunos o que eles entendiam por modelo. A esse respeito, A4G5 respondeu:

A5G5: *“É uma forma assim de você expressar uma forma (...) uma forma de você expressar a reação que tá acontecendo ali, é uma forma desenhada de você expressar o que tá acontecendo na reação de uma forma mais simples... Sei lá.”*

PMF: *“Entendi. Uma (...) representação.”*

A4G5: *“É, uma representação.”*

O aluno demonstrou certa dificuldade em se expressar, mas apesar disso, pareceu compreender que modelos podem representar os fenômenos de maneira simplificada.

A2G1, por sua vez, respondeu:

“Eu entendo que é algo que se constrói para tentar explicar um fenômeno ou alguma coisa assim. Que ele tem algumas limitações.”

A2G1 demonstrou compreender que o poder de explicação de um modelo não é absoluto. A colega de grupo, A1G1, também demonstrou essa compreensão. A respeito do Questionário pós-instrução, na segunda entrevista, PFM perguntou a A1G1 o que ela quis dizer quando escreveu, na primeira questão, que o modelo está associado à capacidade de responder algumas questões e que, por esse motivo, alguns modelos atômicos foram aceitos e outros descartados. A entrevistadora perguntou o que deve ser feito quando um modelo não favorece a elaboração de resposta a alguma questão. A1G1 demonstrou compreender a existência de limitações nas representações, ao afirmar:

“Se existir outro modelo, você tem que ver qual deles responde mais questões e as questões que são realmente importantes dele responder naquele momento assim, porque você nunca... Um dia talvez você chegue num modelo que responde todas as questões que você tem, mas assim, todo dia surge uma nova questão a respeito de um tema e aí você tem um modelo para explicar esse tema, só que às vezes ele não vai conseguir explicar esse tema, mas não quer dizer que ele seja ruim ou

que ele esteja errado, mas tem que ser desenvolvido pra tentar explicar aquela questão.”

Ao ser perguntada sobre o que as atividades de modelagem haviam acrescentado ao que entendia sobre modelos, A1G1 afirmou não ter modificado suas idéias prévias sobre o que é um modelo, mas ter melhorado sua consciência sobre o papel dos modelos para representar fenômenos de diferentes dimensões, como se pode constatar por sua afirmação:

“(...) a proporção assim do modelo... Porque um modelo pode ser uma coisa muito maior do que a realidade, eu não tinha muito essa noção. Um protótipo de um carro pode ser do mesmo tamanho de um carro, mas é um modelo, não é o carro. Os modelos que a gente faz do átomo são muito maiores do que um átomo mesmo.”

Outro esclarecimento solicitado por PFM foi sobre a importância das representações na elaboração das idéias dos cientistas, quando A1G1 escreveu: *“As representações são muito importantes e muitas vezes são o próprio modelo.”* A entrevistadora quis saber qual era a diferença entre modelo e representação, para A1G1. Seguiu-se o seguinte diálogo:

A1G1: *“Porque eu acho que uma representação é um modelo, sabe, você falando que os átomos se organizam assim, assim e assado... É claro que um modelo tem que conter uma representação, sabe? Mas a representação é um tipo de modelo. O modelo, você tenta explicar alguma coisa, quando você desenha, você representa, você tá tentando explicar alguma coisa, sem palavras, assim, é muito próximo.”*

PFM: *“É próximo ou chega a ser a mesma coisa? Pensa lá, quando você estava formulando os modelos na aula de química, você acha que aquela representação era um modelo?”*

A1G1: *“Não, porque lá a gente tinha que pegar uma representação e explicar para as pessoas, entendeu? A gente pegava e falava isso é isso, aquilo é aquilo e isso acontece por causa disso, disso e disso, entendeu? Não adianta você colocar umas bolinhas, uns palitinhos e falar aqui tá o modelo. Ninguém vai entender nada. Mas...”*

PFM: *“Tem que ter uma legenda?”*

A1G1: *“É, uma legenda. Mais do que uma legenda, você tem que falar porque que aquilo... Um modelo tem que se basear em alguma coisa, um argumento, tem que falar: essa bolinha tá nesse lugar, esse pauzinho tá nesse lugar porque isso e isso acontece.”*

A1G1: (Ao perceber que ainda não havia sido compreendida por PFM.)
“Um desenho, ele é um modelo, mas é um modelo simplificado, entendeu?”

PFM: *“É um modelo que você entende, é isso que você quis dizer?”*

A1G1: *“Sim.”*

O diálogo entre PFM e A1G1 pode ser uma evidência de que, para a aluna, uma representação só é considerada um modelo quando ela pode ser compreendida pelas pessoas. Ao afirmar que a representação da estrutura do cloreto de sódio, elaborada por seu grupo, não era um modelo, ela justificou que o grupo *teve* que explicar à turma o que significavam as bolinhas e os palitinhos. A aluna destacou, ainda, o fato de o modelo ter que apresentar um embasamento, que ela chamou de “argumento”.

A seguir, descrevemos algumas declarações colhidas em entrevistas ocorridas após o Questionário pós-instrução, quando os entrevistados foram solicitados a comentar ou elucidar suas respostas. A título de esclarecimento sobre a questão que abordava o sonho de Kekulé e sua relação com a elaboração do modelo para a estrutura do benzeno, PFM pediu que a aluna A2G1 relembresse a referência que havia feito à analogia do mar de elétrons, utilizada para explicar a ligação metálica. A aluna respondeu que havia feito uma comparação. PFM perguntou se a aluna achava que essas analogias podem servir para criar uma explicação. A2G1 respondeu:

“Eu acho que servem pra explicar sim, mas é mais pra tornar... Pra uma pessoa entender é melhor você falar de uma coisa que ela tenha idéia, que ela conheça, tipo falar de mar, uma pessoa faz idéia do que é o mar. E quando você vai explicando assim, você pode pensar mesmo: é, nossa, encaixa mesmo, você pode fazer essa analogia. Eu acho que é mais isso mesmo, pra ajudar as pessoas a entender.”

PFM, então, quis saber por que ela achava que Kekulé, um grande cientista de sua época, resolveu usar uma analogia. A entrevistadora se referia à descrição do sonho

em que uma cobra agarrava a própria cauda, sonho esse que teria levado Kekulé a propor uma estrutura cíclica para o benzeno. A resposta de A2G1 evidenciou o que ela pensava sobre como o suposto sonho do cientista o teria levado à elaboração da analogia:

“Ah, esse negócio... Eu acredito, na verdade, que ele sonhou, mas não basta você sonhar, foi o que eu falei aqui. Antes de eu conhecer a teoria do mar de elétrons eu posso ter sonhado com o mar, mas, no entanto, eu não pensei nessa teoria... Então, é o que eu falei, você pode pensar em tudo, mas pra ele ter... Pra você poder aproveitar, você tem que ter um conhecimento em torno disso, porque senão... Sonha à toa mesmo. Não vai fazer sentido, mas na cabeça dele fez, né? E ele já tava pensando alguma coisa parecida... pra ele fazer a analogia, ele tem que estar pensando alguma coisa parecida. Acho que isso ajudou.”

A2G1 demonstrou compreender que as analogias são produtos de elaborações mentais e que tais elaborações pressupõem conhecimentos prévios. As entrevistas de A2G3, A2G4, A3G6 e A4G6 evidenciaram que esses alunos concordavam com A2G1, além de suas respostas terem corroborado suas próprias afirmações no Questionário pós-instrução. A aluna A3G6, por exemplo, foi solicitada a esclarecer sua resposta no citado questionário, quando afirmou acreditar que ambos os grupos (o que acreditava em sorte e o que acreditava em elaboração mental) *“tinham algo em comum em suas opiniões, porém, sob perspectivas diferentes”*. Sua resposta a essa solicitação foi a seguinte:

“Eu acho que pra ter chegado ao ponto de imaginar aquilo, ele teve toda uma elaboração mental anterior, porque até no próprio texto diz que ele tava estudando e depois ele resolveu parar pra dormir um pouquinho, sabe? Eu acho que o nosso cérebro não pára, ele tá sempre pensando e é uma elaboração constante. Acho que as duas coisas estão muito interligadas: a questão de ser o que dizem de intuição ou o que dizem de ser um processo mais na parte racional. Eu acho que uma coisa que fez ter dois grupos diferentes foi a nossa sociedade, ela é muito dividida assim, ela pensa as coisas (...) cartesiano, sabe? Se até (...) pra gente não é assim, quanto mais o cérebro que a gente nem sabe como é que funciona. Acho que é a gente mesmo, o corpo humano e tudo que rodeia os outros processos naturais, os fenômenos, tudo o que acontece, tem uma lógica, tem um processo, e a mente não é diferente, sabe? Pra uma

peessoa, pra ela chegar a uma conclusão de que a estrutura era assim, sabe, era circular, isso é uma junção de uma elaboração mental e essa elaboração mental tá interligada sim, com o que ele sonhou, o que ele sonhou, provavelmente, tá interligado com todo o processo anterior que ele já tinha passado de estudo, porque ele também não teria, simplesmente, sonhado por (...)."

PFM interveio: "Não partiu do zero, né?", e A3G6 concordou.

A1G1 se manifestou sobre o papel da intuição no trabalho do cientista (ela havia declarado, no Questionário pós-instrução, que acreditava que esse fator havia influenciado na elaboração do modelo para o benzeno). Na entrevista, a aluna disse acreditar que *"outras coisas pesam muito, às vezes mais do que a intuição"* e que *"ele (referindo-se ao cientista) pode ter uma intuição, mas as coisas que ele sabe direcionam mais o caminho do que a intuição"* (referindo-se aos conhecimentos do cientista). A aluna também afirmou que *"a intuição pode estar ligada à criatividade"* e que é preciso *"ter criatividade para criar um modelo"*.

Considerando as respostas descritas acima, a respeito do sonho de Kekulé, acreditamos que elas estão implicitamente relacionadas à compreensão de que as representações são importantes na elaboração das idéias dos cientistas, na medida em que os alunos parecem ter reconhecido que elas surgiram a partir de uma necessidade e com base em conhecimentos prévios (Quadro 4.7). O fato de que, nas entrevistas, todos reconheceram a importância das representações, tanto para a elaboração, quanto para a comunicação das idéias dos cientistas, corrobora essa constatação. A aluna A1G1 afirmou que os modelos concretos, feitos de massa de modelar e palitos, ajudaram muito:

"Principalmente na hora de explicar pro outro, porque na sua cabeça, você consegue criar o modelo, você entende o que você tá pensando, mas, às vezes, não tem uma palavra pra você dizer: olha, é assim, e às vezes o outro tem que ver mesmo como que é, como é que tá na sua cabeça pra entender."

Essa mesma aluna afirmou ter considerado útil o momento de apresentar o modelo à turma,

“porque, de certa forma, na hora que a gente monta (referindo-se aos modelos) nos grupos, o grupo acaba pensando, mais ou menos, do mesmo jeito, sabe? Não é exatamente a mesma coisa, mas é parecido. A gente tem um raciocínio parecido e... O nosso raciocínio é mais diferente de grupo pra grupo assim, então fica mais difícil. E até porque nos outros grupos tem outros questionamentos que a gente não teve, todas as dúvidas que surgem dentro do grupo a gente tenta solucionar, mas, às vezes, os outros grupos pensaram coisas diferentes, aí é mais difícil explicar pra eles e... Na hora que eles fazem uma pergunta que a gente não pensou, a gente tem que pensar ali na hora, né, pegar o modelo e com o modelo tentar explicar.”

A entrevistadora também perguntou se ela achava que isso ajudava a pensar melhor no próprio modelo e a resposta foi afirmativa, pois ela acreditava que, quando o grupo “*monta*” um modelo, ele está buscando explicar as próprias questões, aquelas que surgem na discussão durante a elaboração do modelo. Ela afirmou que apresentar o modelo para a turma pode ser considerado o “*inverso*”, ou seja, a partir do modelo construído, buscar responder questões que outros, que não pertencem ao grupo, possam fazer. A2G4 também considerou proveitoso esse momento, porque, segundo ela, “*quando a pessoa apresenta a idéia e fala de uma coisa (...), aí você tenta mudar*”. Em relação à comparação de seu modelo com os de outros colegas, ela afirmou que “*não é que você queira ter o melhor modelo da sala, mas você quer encontrar o que é, de verdade*”. Outro aluno, A5G4, também afirmou que considerava importante, não só a comparação de seu próprio modelo com aqueles apresentados pelos outros grupos (para conhecer outros “*pontos de vista*”), mas os questionamentos que podem surgir no momento em que o modelo é exposto à turma.

O diálogo estabelecido entre PFM e A4G6 demonstra o que o aluno pensava sobre representações e elaboração de modelos.

PFM: “Na sua resposta (referindo-se ao que ele havia escrito), você coloca que você acha importante a representação, na elaboração dos cientistas porque mostra outros aspectos, evidencia outros

aspectos. Que aspectos são esses que você acha que uma representação pode mostrar?”

A4G6: *“Eu acho que quando um cientista vai elaborar um modelo, ele pega as idéias que ele tem e vai montar o modelo, mas, no decorrer da construção do modelo podem ir surgindo outras idéias, que aí podem trazer mais detalhes ao modelo, aí, não sei... Aí, seria interessante ele colocar as figuras, né, nessa etapa toda... Porque às vezes ele pode, não sei... Às vezes ele pode tirar, pegar alguma coisa do modelo que às vezes seria bom ter deixado.”*

PFM: *“Você acha que o fato dele ir representando, vai explicitando isso pra ele?”*

A4G6: *“É, é, e também vai deixando mais... Vai dando uma idéia melhor pra ele, porque se ele não ir [sic] construindo desde já o modelo, se ele esperar ter muita idéia pra depois montar o modelo, às vezes um... Alguma coisa ele pode ter deixado passar, não sei...”*

Neste trecho, A4G6 demonstrou reconhecer que as representações são importantes durante a elaboração dos modelos, para ajudar na organização das idéias dos cientistas. A5G4 pareceu ter a mesma idéia que o colega, pois afirmou:

“É igual quando você está pensando alguma coisa, aí quando você escreve e dá pra desenvolver aquele pensamento melhor. Eu acho que o modelo também. Ele dá pra desenvolver melhor o que você tá pensando, às vezes você tá pensando o que pode encaixar, que uma parte é de um jeito e o outro (...)”

Ao ser perguntado sobre o papel das representações na comunicação entre os cientistas, o aluno afirmou ser interessante *“porque um cientista pode saber o que outro está pensando.”* Outra estudante, A3G6, expressou uma idéia similar às de A4G6 e A5G4, sobre a elaboração do conhecimento, pois, segundo ela, utilizar representações ajuda a *“pensar de forma mais organizada”*, pois *“sintetiza”* informações. A aluna elaborou uma analogia a esse respeito:

“Igual quando a gente olha pra uma foto na casa da sua avó, foto de seus pais, sabe? Quando você olha, você já lembra de muitos outros fatos e coisas que ocorreram na sua vida naquele dia ou com aquela pessoa, no momento que você passou com aquela pessoa, sabe? Não precisa de alguém (...) de você ler o seu diário pra você saber o que você

fez naquele dia, você olha pra foto, você lembra, ou mesmo você não precisa olhar pra foto, você pode olhar mentalmente, você pode lembrar. Já é um resumo de tudo. Não sei se a analogia foi boa (...).”

A idéia de síntese parece preponderar na analogia proposta pela aluna, o que nos levou a considerar que, para ela, este é um atributo dos modelos.

Os relatos acima justificam nossa consideração de que a segunda questão desta pesquisa (Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão do papel de representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico?) foi investigada nas entrevistas. Todos os alunos aos quais a pergunta foi feita na entrevista afirmaram ser importante utilizar representações, tanto na elaboração, quanto na comunicação dos modelos (Quadro 4.7).

A seguir, destacamos momentos em que acreditamos ter havido evidências referentes à compreensão das convenções de representação (Quadro 4.1) e à tradução entre diferentes representações (Quadros 4.2 e 4.3).

Na questão que se referia aos modelos fornecidos para o fulereno e à analogia com a bola de futebol, ao serem perguntados se, para explicar a analogia a um suposto colega, teria sido melhor mostrar-lhe uma bola de futebol, todos, exceto A2G4, responderam que sim. Consideremos, por exemplo, a resposta de A3G6:

“Por exemplo, se eu quisesse explicar pra uma pessoa que não tem esse tipo de conhecimento, sabe?, que nunca estudou ligações e não tem uma percepção geral disso. Eu acharia mais fácil mostrar uma bola pra ela. Porque isso depende muito de pessoa pra pessoa, porque tem pessoa que consegue abstrair muito. Por que... isso vai variar, sabe? Se eu tiver explicando pra uma pessoa que eu tenho certeza que ela tem uma capacidade de abstração muito grande, não precisaria mostrar uma bola pra ela, poderia só falar: imagina uma bola, uma bola de futebol, com aquelas costurinhas e coisas (...). Só que se eu tivesse explicando pra uma pessoa que eu não tenho certeza de que ela vai conseguir abstrair isso, eu preferia mostrar. Entre o certo e o duvidoso, eu prefiro o certo. Até porque, quando você faz um modelo, você já tá destinando a aquele determinado grupo de pessoas, é bom deixar as coisas mais claras para que todo mundo entenda, sabe? Eu explicaria com uma bola mesmo, pra ter certeza que a pessoa vai entender.”

Outro exemplo que ilustra a vantagem, para os alunos, de se utilizar modelos, em especial o modelo concreto, sobre o modo verbal, é o diálogo entre PFM e A1G1, apresentado a seguir.

PFM: “Quando você vai explicar... Ele pede pra explicar pro seu colega a questão do fulereno, como é que é o fulereno. Achei interessante que você resolveu desenhar, você acha que desenhando é mais fácil pra pessoa entender?”

A1G1: *“Com certeza. Você explicar em palavras dá muita... às vezes até ambigüidade assim, principalmente pra pessoa que não sabe, é difícil você pensar numa coisa que você nunca viu. Aí com o desenho fica mais fácil de pensar naquilo.”*

PFM: “E você acha que assim, se você tivesse uma bola de futebol na hora de explicar pro seu colega, você acha que ia facilitar? Mostrando na bola?”

A1G1: *“É. Que nem os modelos que a gente faz com massinha e tal.”*

PFM: “Você acha que ajuda?”

A1G1: *“Com certeza.”*

PFM: “Mas ajuda em quê?”

A1G1: *“Porque... Quando a gente não vê a coisa, explicar pro outro que, ah não, aqui é como se tivesse um átomo, um outro átomo e eles estão ligados, só que não existe de fato essa ligação, mas existe uma força, sabe assim. O próprio conceito de força, sabe, força, ela existe e você não vê, não tem jeito de ver a força. É muito mais fácil você desenhar a força, mesmo ela não existindo...”*

PFM: “Fisicamente assim, concretamente, né?”

A1G1: *“É.”*

PFM: “Mas aqui, mesmo você falando pra uma pessoa de uma bola de futebol, porque a bola de futebol todo mundo já viu, né. Você acha que mesmo assim, o desenho, ou mostrar a bola ajudaria mais?”

A1G1: *“Não mais, aí... A não ser que a pessoa tivesse muita dificuldade de compreensão, que aí você ia pegar a bola, mostrar: aqui, nessa união é um átomo, aqui nessa listrinha... Mas aí eu acho que todo mundo sabe, imagina, uma bola de futebol.”*

A1G1 demonstrou, em sua resposta, conhecimento de que representações não correspondem à realidade, quando citou o exemplo da representação de força. Essa

demonstração corrobora o que se constatou em dois momentos anteriores: na apresentação, para a turma, do modelo do NaCl e na resposta ao Questionário pós-instrução. Em ambas as ocasiões, a aluna explicitou essa consciência sobre a natureza dos modelos.

A aluna A2G4, que respondeu não considerar melhor mostrar a bola ao colega, afirmou que o desenho é melhor do que a bola *“porque a bola não vai explicar tudo direitinho, a gente vai fazer, praticamente, uma aproximação”*. No entanto, ela considerou possível utilizar esse modelo concreto, dizendo que já que ela *“tinha que explicar por uma bola”*, usaria os *“cantinhos”* para falar que representavam átomos de carbono e *“inventaria”* um jeito de explicar o que eram ligações duplas e simples. A aluna pareceu preocupada com o fato de o modelo concreto não ser explícito quanto às ligações entre os átomos, o que parece se confirmar pelo diálogo a seguir.

PFM: *“Se você não tivesse que usar a bola, você acha que seria melhor mostrar uma estrutura como essa?”* (apontando a Figura 4.14A no questionário)

A2G4: *“Eu gosto mais dessa”* (aponta a Figura 4.14B no questionário)

PFM: *“Unhun”*

A2G4: *“Porque eu gosto de figura ... Eu acho mais fácil. Porque aqui parece que é tudo igual, assim, tudo bem, eu não consegui enxergar direito, talvez tenha alguma diferença, sei lá, de cor, mas...”* (referindo-se à Figura 4.14A no questionário)

PFM: *“Acho que não.”*

A2G4: *“Pois é, aí parece que é tudo igual, e aí fica uma coisa assim, né, porque o carbono precisa se ligar com quatro e tá ligando com três.”*

A2G4 pareceu demonstrar que considerava muito importante que a representação explicitasse as ligações duplas e simples. No entanto, a aluna escreveu, no Questionário pós-instrução, que a Figura 4.14A apresentava a vantagem de *“ter uma visão mais real, mais estrutural”* e de *“chamar mais a atenção”*. PFM perguntou a ela o motivo de ter feito tal afirmação, apesar de preferir a outra figura (*“menos real”*). A aluna respondeu:

“Eu acho que por causa de ser meio tridimensional ali, ajeitadinho assim e tal, acho que fica mais próximo do real, porque ali é plano” (comparando as Figuras 4.14A e 4.14B).

A2G4, que, no início do diálogo parecia não perceber o caráter pseudo-tridimensional da figura 4.14A, parece tê-lo feito no final, sem que a entrevistadora lhe fornecesse indício algum de tal atributo da representação. Nesse sentido, podemos considerar que ela foi capaz de identificar as convenções de representação do modo visual (bidimensional), elemento envolvido na capacidade de visualização apresentado no Quadro 4.1, e de fazer conexões entre as duas representações, mapeando aspectos de um tipo de representação naqueles do outro e explicando as relações entre eles (Quadro 4.2).

Considerando as vantagens e desvantagens das duas representações, A3G6 pareceu apresentar o mesmo tipo de dificuldade que A2G4 com relação ao fato de a figura 4.14A remeter a três dimensões, apesar de ser um desenho. A aluna havia escrito que a figura poderia *“confundir”* e quando PFM solicitou que ela esclarecesse sua resposta, disse:

“É porque quando você olha assim, não tá dando assim, percepção de que é mais de uma dimensão, sabe? Tá uma coisa muito linear assim, aí as bolinhas de trás parece que estão junto com as da frente, e essas linhas aqui, as interações, você pode achar que estão... uma coisa meio assim...”

PFM completou: *“Junto.”*, e A3G6 concordou:

“É, meio junta. Aí então não dá pra perceber direito. É claro que quem já sabe que não é assim, que é uma estrutura em 3D, coisas do gênero, quando olha, já consegue entender. Mas quem nunca viu, não vai entender nunca, eu acho. Talvez entenda né, não sei...”

A julgar por sua resposta, a aluna considerava que as representações do tipo da Figura 4.14A, pseudo-tridimensionais, não estão ao alcance do entendimento de todas as pessoas. No entanto, a exemplo de A2G4, ela apresentou a capacidade de identificar as convenções de representação do modo visual (bidimensional), e de fazer

conexões entre as duas representações, apesar de não ter mapeado explicitamente aspectos e relações entre eles, nas representações (Quadros 4.1 e 4.2, respectivamente).

A2G1, por sua vez, ao ser perguntada se conhecia alguma situação em que seria mais adequado utilizar a Figura 4.14A ou a Figura 4.14B, afirmou que achava que as duas representações deveriam ser utilizadas “*juntas*” (por escrito, ela havia destacado as vantagens e desvantagens de cada uma das figuras). PFM solicitou que ela justificasse sua idéia e a aluna respondeu:

“Ah, assim, porque esse daqui é aquele negócio que você monta mesmo, não é? (...) Ou é figura mesmo?” (referindo-se à Figura 4.14A).

PFM esclareceu que a figura era uma representação computacional, e não a foto de um modelo concreto, como a aluna parecia pensar. No entanto, a entrevistadora disse que era possível montar a estrutura, e perguntou se ela acharia interessante ter o modelo concreto. A2G1 respondeu:

“Eu acho interessante ter assim em mãos, ver assim mesmo, eu acho interessante. Mas ela (referindo-se à Figura 4.14A) tem suas desvantagens, né? Não dá pra você por tudo ali, então nessa aqui coube mais coisas assim, deu pra colocar mais detalhes.” (referindo-se à Figura 4.14B).

PFM perguntou, então, por que a aluna achava interessante usar as duas representações, uma vez que ela afirmava que na Figura 4.14B “*cabiam mais coisas*”. Em outras palavras, a entrevistadora indagou por que ela considerava que o melhor seria utilizar simultaneamente as duas representações, se ela acreditava que uma delas era mais completa do que a outra (a aluna havia escrito, no Questionário pós-instrução, que a vantagem da segunda figura era evidenciar as ligações duplas e simples). A2G1 afirmou que ela achava que “*você guarda muito mais uma coisa se você pega assim, você tem mais contato do que quando você vê uma figura assim*”, demonstrando achar importante a possibilidade de manusear o modelo concreto. Consideramos que a aluna utilizou os desenhos e usou palavras para identificar e

analisar aspectos das representações (Quadro 4.1). Embora ela não tenha sido explícita quanto ao que quis dizer com “*caber mais coisas*” na representação da Figura 4.14B, levamos em consideração também sua resposta escrita, na qual destacou que a vantagem dessa figura era a representação do tipo de ligação. Ao que parece, a aluna considerava mais importante explicitar as ligações do que os átomos de carbono. Além disso, ela fez conexões entre as representações (Quadro 4.2), embora não tenha mapeado aspectos das mesmas.

A1G1 escreveu, no Questionário pós-instrução, que a Figura 4.14B tinha a desvantagem de “poder causar dúvidas em pessoas leigas, por não evidenciar os átomos” existentes na estrutura. PFM perguntou quem a aluna considerava ser “pessoas leigas” e A1G1 respondeu:

“Uma pessoa que, que visse isso assim sem saber que nessas ligações têm átomos e sem saber que isso é uma ligação entre átomos, não sei, não sei o que ela poderia imaginar, poderia achar que isso aqui é um átomo, sabe? Que um pentágono é um átomo. Se eu colocasse isso pra um aluno, sei lá, da quarta série, ele ia achar que é uma bola, assim, só uma bola. Se eu falasse assim: Ah, tem átomos. Aí ele ia achar que isso aqui são átomos.”

PFM buscou esclarecer a resposta: “Cada figura geométrica?” e A1G1 confirmou: “É, que a bola toda é um átomo e o átomo é todo partidinho.”

A1G1 demonstrou reconhecer a necessidade de que o modelo seja claro, a fim de ser compreendido pelas pessoas que, por sua vez, precisam apresentar certos conhecimentos prévios. Ao supor que uma pessoa poderia interpretar a representação de maneira equivocada, ela demonstrou compreender que vários átomos estavam representados em cada pentágono, o que consideramos ter sido possível porque ela foi capaz de identificar e utilizar os desenhos (Quadro 4.1). A preocupação com a clareza do modelo também se evidenciou, em seguida, na resposta da aluna, quando PFM quis saber se ela achava que as diferentes ligações (duplas e triplas) poderiam ser representadas em 4.13A, ou se ela achava que tal representação já era satisfatória. A1G1 respondeu:

“Eu acho que pra ficar... Depende do que você quer do modelo, né, mas pro modelo ser simples, porque eu acho que o modelo tem que ser simples, se ele for complicado, ninguém vai entender, ele tá bom, assim, pra falar que esse tipo de ligação existe, né?”

Ao afirmar que o modelo deve atender àquilo a que se propõe, A1G1 demonstrou compreender que os modelos devem ser simples, dentro das possibilidades, o que está de acordo com nossa consideração sobre a aluna ser capaz de compreender o que são e para que servem os modelos. Além disso, ela foi capaz de usar palavras para identificar aspectos das representações (Quadro 4.1).

Os demais alunos confirmaram o que haviam respondido por escrito, apenas indicando as vantagens da Figura 4.14A (evidenciar os átomos) e da Figura 4.14B (evidenciar as ligações duplas e simples). Consideramos que os alunos foram capazes de: utilizar desenhos (Quadro 4.1); usar palavras para identificar e analisar aspectos das representações (Quadro 4.1) e de estabelecer conexões entre as duas representações (Quadro 4.2), identificando aspectos comuns entre as duas representações, ao indicar, por exemplo, que os átomos de carbono explicitados na representação 4.13A estão representados implicitamente pelos “encontros” das linhas na representação 4.13B e que as varetas, na primeira representação correspondem às linhas, na segunda.

Considerando outra questão em que ocorreu a utilização de desenhos (Quadro 4.1), nos chamou a atenção o fato de que os entrevistados reconheceram facilmente que as figuras 4.15A e 4.15B eram representações para a molécula de DNA, sendo que alguns deles destacaram o caráter familiar de tais representações. A2G1, por exemplo, justificou a facilidade em perceber o que as figuras representavam, afirmando que ambas representavam o DNA, *“até porque esse daí já é bem familiar assim, né?”* (não se referindo especialmente a um ou a outro desenho). Outra aluna, A2G3, aludiu à popularidade da estrutura representada afirmando estar *“na moda”* tal representação. Os alunos também reconheceram que o fato de já conhecerem a estrutura não era suficiente para levá-los a compreendê-la. As duas alunas citadas acima, por exemplo,

não foram capazes de identificar os constituintes do DNA, em nenhuma das duas representações. O diálogo entre PFM e uma terceira aluna, A3G6, ilustra essa constatação:

PFM: “Pensando agora nessa outra, do DNA. Você falou que já tinha visto em livro, revista...”

A3G6: *“Ah, tão divulgado, né. Eu tô achando isso bom, o problema é que divulgam tanto e não explicam o que é, uma coisa impressionante. Eu fico pensando assim, não é discriminação, nem nada, é pensando em fatos, pra uma pessoa que não tem acesso a conhecimento científico, não que... Ah, não, peraí, agora eu tô pensando uma outra coisa aqui... O conhecimento científico (...), só que escondido, digamos, nas coisas. Por exemplo, na televisão tem (conhecimento científico), só que quem tá apertando o botãozinho, muito provavelmente, às vezes, dependendo da pessoa, não vai pensar no processo e discutir (...). Aí uma pessoa que não teve acesso à informação, não estudou, sabe? Não tem noção de célula, de molécula, de átomo... Aí vai ver lá o Jornal Nacional falando do câncer aí vê lá um DNAzinho, aí vem um tanto de gente falando DNA, de DNA... Aí vai e coloca a fotinha (provavelmente se referindo à representação bidimensional do modelo), eu fico pensando, a pessoa não deve entender, apesar de só sair repetindo: ah, é o DNA... Ah, você parece comigo, é o DNA. Esse tipo de coisa, sabe? Mas não entende o que é...”*

PFM: “Quando a gente tem aqui (referindo-se à figura 4.15A), esse símbolo de bolinha, você consegue... Você fala assim: ‘as bolinhas representam diferentes átomos na molécula’ (referindo-se à resposta escrita). Olhando essa estrutura aí, você consegue distinguir quais seriam esses átomos...”

A3G6: *“Assim, de falar que esse é esse... Que é o nitrogênio, que é o oxigênio, que é (...)...?”*

PFM: “Sim.”

A3G6: *“Não, não.”*

PFM: “Só olhando a estrutura.”

A3G6: *“Não consigo, não.”*

PFM: “E como você saberia que tem átomos diferentes aí?”

A3G6: *“No caso, só de bater o olho, porque tem bolinhas de tamanhos diferentes e de cores diferentes. E assim, mesmo essas aqui que*

estão mais escuras, tá dando pra ver que umas são menores do que as outras, que são mais claras e que tem um jogo de luz diferente (...). Mas de saber o que é (...), se até a gente mesmo que ouve tanto falar de DNA, não sei o que... Aqui tem tal proteína, os aminoácidos juntos e não sei o que... Aquela coisa toda... A gente não sabe os nomes. Não sei o nome não. ”

A despeito de não ter reconhecido os átomos constituintes do DNA, A3G6 foi capaz de identificar as convenções de representação presentes no desenho, pois reconheceu que *“bolinhas de tamanhos e cores diferentes”* representavam átomos diferentes, utilizando palavras para identificar esse aspecto da representação (Quadro 4.1).

A1G1 foi uma das alunas que haviam reconhecido alguns elementos no modelo do DNA, como as bases nitrogenadas, as ligações de hidrogênio e os grupos fosfato em sua resposta escrita. A aluna havia declarado conhecer a estrutura, de aulas de Biologia. Os desenhos que ela produziu, apresentados no capítulo 4, demonstram que A1G1 tinha, de fato, algum conhecimento prévio (figuras 4.16A e 4.16B). Na entrevista, a aluna se desculpou por ter confundido os nomes de uma base nitrogenada e de um hormônio. Ela disse já haver estudado o assunto antes (A1G1 havia cursado a primeira série duas vezes, a segunda das quais na escola em que esta pesquisa se realizou) e que agora, que havia aprendido ligações químicas, ela entendeu melhor a representação do DNA. Consideramos que a aluna identificou e utilizou desenhos, (Quadro 4.1), fazendo conexões entre eles (Quadro 4.2). A propósito da popularidade da representação, a entrevistadora perguntou se a aluna acreditava que isso aumentava o interesse do público, se o levava a procurar saber mais a respeito da representação. A1G1 respondeu que isso dependeria dos interesses pessoais, pois as matérias de jornais e revistas não se destinavam a um *“público específico”*, então, algumas pessoas teriam sua curiosidade despertada e outras, não.

Outra entrevistada, A2G3, que havia mencionado que a estrutura estava *“na moda”*, também afirmou que isso não ajuda a compreender a estrutura, mas que, dependendo da pessoa, esta ficaria interessada em saber o que significa aquele *“tanto*

de bolinha". As opiniões de A1G1, A2G1, A2G3 e A3G6 parecem estar de acordo com o fato de os modelos poderem ser identificados e utilizados apenas por pessoas que conheçam as convenções das representações.

A resposta de A2G1 à questão referente ao DNA, no questionário, levou a que se perguntasse à aluna, na entrevista, por que ela afirmou que a figura 4.15A (que explicitava os átomos) podia ser encontrada em livros de química, enquanto a figura 4.15B (representação com fitas) era comum em livros de Biologia. A2G1 respondeu:

"É porque o livro de Biologia, ele não tem... Ele não quer mostrar os átomos, ele não tem essa pretensão, sabe? Ele vai, no máximo, te mostrar do que é feito, vai te fazer alguma diferenciação ali, mas não tem essa pretensão. Aqui no de química, eu acho que já é completamente diferente, tem outra pretensão, eles querem outra coisa."

A entrevistadora perguntou, um pouco mais adiante, para que a figura 4.15B seria mais adequada, ao que A2G1 respondeu:

"Olha, eu já vi essa figura quando eles falam de duplicação, né, duplicação de DNA, eles fazem assim. Aí já não importa muito, eles não querem passar pra gente em relação aos átomos, tão profundo assim. Mas isso daqui basta pra nos ensinar isso, sabe? Vai até o ponto necessário. Não precisa identificar muitas coisas."

Em ambas as respostas apresentadas, A2G1 demonstrou apresentar a noção de que o modelo precisa cumprir os propósitos para os quais ele é elaborado. Ela parece compreender que representações submicroscópicas (de átomos) são relacionadas à Química, enquanto a Biologia geralmente não apresenta a preocupação em destacar esse tipo de representação. Como destacado anteriormente neste capítulo, a aluna havia declarado, em sua resposta ao questionário, que as bolinhas de cores e tamanhos diferentes (no desenho que mostra partículas – figura 4.15A) representavam os diferentes átomos que formam a estrutura do DNA e que a diferença de cor das fitas evidenciava a existência de estruturas diferentes, na figura 4.15B. Podemos afirmar que as declarações de A2G1 confirmam a análise feita a partir do que ela

escreveu. A2G1 havia se limitado a observar que diferentes símbolos significavam diferentes átomos sem, no entanto, identificar os mesmos e suas interações. Na entrevista, ao ser solicitada a identificar os átomos representados na figura 4.15A, a aluna se mostrou incapaz de fazê-lo novamente. No entanto, ela demonstrou ser capaz de identificar as convenções de representação presentes nos desenhos (Quadro 4.1). Ela conseguiu, ainda, fazer conexões entre as duas representações (Quadro 4.2), uma vez que percebeu que ambas representavam o DNA, mas não mapeou aspectos de um tipo de representação naquelas da outra.

Quanto à exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo se baseou (Quadro 4.1), consideramos que isso ocorreu nas respostas de A2G1 à questão do fulereno e à que se referia ao conceito de célula unitária. A2G1 havia feito, no Questionário pós-instrução, o que nós consideramos uma comparação de mera aparência, conforme relatado na análise do estudo de caso. Essa consideração se baseou no fato de que a aluna combinou apenas propriedades descritivas dos dois domínios (bola e fulereno) ao comparar os hexágonos da bola e os hexágonos do fulereno, os gomos da bola e os hexágonos do fulereno e o formato arredondado de ambos. O diálogo a seguir parece confirmar essa consideração:

PFM: “Quando fala pra você explicar pro colega...”

A2G1: *“Parece uma bola de futebol.”*

PFM: “É. Você acha que se tivesse a bola de futebol assim em mãos, ia ajudar você a explicar pro colega (...)?”

A2G1: *“Assim, ele poderia relacionar só explicando né, dando as características da bola, por exemplo, (...). Se eu tivesse essa daí, com o formato desses gomos assim, nó, ia ser bem mais fácil!”*

PFM: “E por que ia ser bem mais fácil explicar com a bola nas mãos?”

A2G1: *“Ah, porque as estruturas são muito parecidas assim, os desenhos, né, que a gente vê, são muito parecidos, ia facilitar muito. Dá pra fazer muitas analogias com ele.”*

PFM: “Ah é? Que analogias que você ia fazer?”

A2G1: *“Tipo uma... um gominho com o outro da bola, a gente poderia falar que seria tipo uma ligação, a gente sabe que é só uma*

forma de representar a ligação, mas é um bom jeito de explicar assim (...).”

Referindo-se à questão que tratava do conceito de célula unitária, PFM perguntou a A2G1 o que ela quis dizer ao afirmar que a célula unitária era “*como se fosse um ‘DNA’ (aspas da aluna)*”. A2G1 respondeu:

“Tipo uma pessoa, você pega qualquer parte dela, tem o mesmo DNA, e daí, mesmo se eu pegar essa parte, o resto dela toda vai ser a mesma coisa também. Então, é como se você replicasse a mesma coisa assim, vai estar presente em toda a estrutura dela.”

A despeito de ter utilizado uma analogia (Quadro 4.1), de maneira coerente com a definição de célula unitária fornecida pela questão (como sendo a menor unidade de um cristal que possui toda a sua simetria, o que significa que o cristal inteiro pode ser gerado pela repetição de sua célula unitária), A2G1, assim como outros colegas, não estava segura de ter compreendido o conceito, pois afirmou: “*você pega a menor parte do cristal, você consegue identificar assim, suas características, sabe?*”. E continuou: “*Ah, é a menor parte assim dele, não sei falar...*”. A incompreensão, por parte dos alunos, do que seria uma célula unitária, foi também destacada pela professora em suas notas de campo.

Outra entrevista que parece evidenciar a exploração de uma analogia (Quadro 4.1) é a de A3G6, que representou a célula unitária com uma bolinha. Sua representação foi parecida com a de A4G6, que esclareceu que essa bolinha seria o “primeiro átomo”, o “átomo inicial”. A resposta de A3G6 foi um pouco mais elaborada do que a de A4G6 e incluiu uma analogia:

“É, (...), porque a bolinha é uma coisa muito usual, muito comum, todo mundo coloca uma bolinha. É (...), célula unitária que é uma peça elementar que vai construir outras, pensando num tijolo pra construir uma parede, você já tá... Você não pensa no que tem no tijolo, depende muito a ocasião, né, pode ser que você pense, mas em termos práticos, você não vai tá pensando no que tem ali...”

Interpretamos a analogia utilizada pela aluna como tendo sido uma tentativa de explicar que, para ela, a célula unitária seria o menor constituinte relevante da estrutura (que ela considerava, a julgar pela representação com a bolinha, ser o átomo). Essa interpretação se deveu ao fato de ela ter afirmado que, numa parede, a “*peça elementar*” seria o tijolo, e não “*o que tem no tijolo*” (que seriam as substâncias de que ele é constituído, conforme entendemos). Tanto A3G6, quanto A4G6 (além de A2G1, que destacamos acima), parecem não ter compreendido bem o conceito de célula unitária, o que confirma a observação da professora.

O diálogo a seguir ilustra como A1G1 comparou o processo vivenciado pelo grupo com aquele que os cientistas experimentam.

PFM: “E o que vocês estão fazendo, construindo modelos... O que você vê de semelhante ou de diferente, entre o que vocês fazem dentro de sala e o processo de construção da própria ciência mesmo?”

A1G1: “*Eu acho que é muito parecido assim, só que numa escala menor.*”

PFM: “O que é uma escala menor?”

A1G1: “*Porque a gente... Quem trabalha com isso, são cientistas mesmo, eles estudaram por muitos anos, sabe, e eles já... Eu acho que eles têm um caminho mais arrumadinho que o nosso. Porque a gente vai e volta, vai e volta, sabe? Eu acho que eles, bom, demoram muitos anos pra explicar várias coisas, devem ter tantas dúvidas quanto nós, mas nossas dúvidas são mais básicas, sabe, mais... Não sei como eu explico. Mais rasas, sabe, eles tão pensando em coisas maiores (...)*”

PFM: “Isso tem a ver com o conhecimento prévio deles?”

A1G1: “*É, eu acho que o que muda mais é isso, e também o nosso interesse lá na sala é entender uma coisa, sabe, a gente não vai vender essa idéia pra ninguém, a gente não vai usar... Acaba que a gente sai da sala e não pensa muito nisso, sabe, o tempo inteiro, é mais naquele espaço. Não que não seja interessante saber que no mundo que eu existo tem isso e isso, desse jeito e tal, mas os cientistas trabalham mesmo com isso. Às vezes, têm um tempo pra pensar num modelo e esse modelo vai ser muito importante pra humanidade assim, sabe? Essa escala é diferente*”

assim... Claro, até porque um dia os cientistas fizeram isso que a gente tá fazendo agora, né, com certeza... ”

A2G4 afirmou que o trabalho em sala de aula se diferia do trabalho dos cientistas pelo fato de os últimos terem acesso a um número maior de informações, enquanto, nas atividades, a professora não fornecia, inicialmente, todos os dados. Ela afirmou, ainda:

“Eu acho que o que a gente tá fazendo lá (referindo-se às aulas) é bem parecido com a forma que eles devem utilizar pra descobrir alguma coisa, eles devem ter a sua suspeita né, adquirir informação e fazem testes, fazem igual a gente tá fazendo lá (...). ”

A2G3, por sua vez, apontou como comum às duas situações o fato de serem necessários experimentos, no processo de elaboração dos modelos, destacando que, no seu caso, os experimentos foram mentais, enquanto os cientistas os desenvolvem, efetivamente: *“Aí, fazem experiências, igual a gente pensa, eles fazem concreto e a gente pensa.”*. Apesar de expressar uma idéia equivocada (a de que os cientistas só realizam testes empíricos), a aluna demonstrou compreender que os testes realizados para a validação dos modelos podem ser mentais ou experimentais, o que entendemos, nesta pesquisa, como uma evidência de que ela compreendia essa etapa do processo de modelagem. A2G6 destacou que os cientistas precisam avaliar seus modelos, e questioná-los, como eles estavam fazendo em sala, nas atividades. Considerando que as atividades foram elaboradas com base no diagrama Modelo de Modelagem (proposto a partir da consideração de como os cientistas trabalham) (Figura 2.5), acreditamos que os alunos tiveram a oportunidade de vivenciar etapas importantes da elaboração dos modelos, ao conduzir experimentos mentais a fim de avaliá-los.

Nesse sentido, A4G6 falou de como as dúvidas foram surgindo durante a *elaboração* dos modelos e afirmou acreditar que, se o modelo fosse fornecido *“pronto”*, a dúvida poderia surgir na *interpretação* do mesmo. Ele justificou essa

afirmação, dizendo que “*se colocando como se fosse no lugar do cientista*”, a pessoa participa da evolução das idéias que compõem o modelo, desde o início.

A pergunta: “Como os modelos construídos nas atividades utilizadas no ensino de ligações químicas contribuíram para que você seja capaz de imaginar como é a estrutura de uma célula unitária?”, constante do questionário, foi feita, novamente, na entrevista. A4G6 afirmou que as atividades contribuíram pouco, porque ele ficou em dúvida sobre o que seria a célula primária. A2G1 e A2G6 responderam a pergunta de maneira mais geral, não relacionada especificamente à compreensão de célula unitária. A2G6, por exemplo, afirmou que as atividades a levaram a raciocinar e que questionar sobre aquilo que estava sendo ensinado deu a ela a visão de como construir um modelo, visão que talvez não tivesse se ela lesse no livro aquilo que haviam elaborado nas aulas.

A2G1 também afirmou que o fato de construir os modelos é melhor do que vê-los prontos nos livros, mas declarou, por outro lado, que ficou entediada em alguns momentos, por ter achado as atividades repetitivas, às vezes. A2G4 também comentou que, algumas vezes, as atividades eram cansativas, mas que, apesar disso, gostou de trabalhar dessa maneira.

Ao discutir este aspecto, A1G1 mencionou a relação entre os níveis submicroscópico e macroscópico:

“Eu acho que ver algumas coisas acontecendo, por mais que você não veja as estruturas, mesmo, que formam as coisas, macroscopicamente vendo, já ajuda assim, que nem a gente viu que muita coisa, o formato que muitas substâncias adquiriam era devido à organização das unidades fundamentais. Isso ajuda você a pensar.”

PMF perguntou se ela se referia, por exemplo, à formação de um cristal, e A1G1 respondeu que sim. Ao fazer a afirmação transcrita acima, a aluna fez o que consideramos uma tradução do modo macroscópico para o submicroscópico (Quadro 4.3), demonstrando compreender que o primeiro é decorrente do segundo.

Ao esclarecer sua resposta escrita, de que as atividades contribuíram um pouco para a elaboração da idéia de célula unitária, A1G1, respondeu que ela não quis dizer

que tal contribuição tenha sido pequena, mas que não foi *“tudo”*, não foi maior do que a contribuição de *“outras coisas”*. Porém, disse ter gostado de trabalhar em atividades de modelagem por achar que, dessa maneira, *“você não tem contato com a teoria simplesmente, tem contato com o que justifica aquilo ser daquela forma”*.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esta pesquisa investigou a influência de uma estratégia para o ensino do tema ligações iônicas, envolvendo atividades de modelagem, baseadas no diagrama Modelo de Modelagem (Justi & Gilbert, 2002a), no desenvolvimento da capacidade de visualização de estudantes. O registro em vídeo da aplicação da estratégia de ensino e a coleta de todo o material produzido pelos alunos permitiu a produção do estudo de caso do Grupo 1. Além disso, foram realizadas entrevistas com um grupo de alunos. A partir da análise do estudo de caso e das entrevistas, tornou-se possível responder as questões de pesquisa.

Entretanto, antes de discutirmos alguns aspectos relativos à capacidade de visualização dos alunos, faz-se necessário considerarmos a aprendizagem do tema ligação iônica, embora não tenha sido esse o objetivo deste trabalho. Segundo relatos da professora, os alunos demonstraram ter desenvolvido uma boa compreensão a respeito dos aspectos de ligação iônica que foram trabalhados a partir da estratégia de ensino. Ela justificou tal informação considerando os resultados obtidos pelos alunos nas avaliações sobre ligação química que se seguiram³¹, assim como nos subseqüentes estudos de outros tipos de ligação, nos quais eles utilizaram de maneira adequada os conhecimentos elaborados sobre ligação iônica.

PRIMEIRA QUESTÃO DE PESQUISA

Nossa primeira questão de pesquisa era: Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão dos modos e convenções de representação

³¹ Os alunos foram submetidos a duas avaliações individuais, sendo que a primeira ocorreu quatro semanas e a segunda, oito semanas após o final da citada instrução. Tais avaliações continham questões a respeito de ligação iônica e também sobre ligação covalente, metálica e interações intermoleculares.

utilizados em Química? Para respondê-la, consideramos os resultados apresentados no capítulo anterior, que evidenciam que os estudantes, em geral, compreenderam os modos e submodos de representação utilizados em Química. A seguir, identificamos, neste capítulo, quais elementos do processo de ensino favoreceram o desenvolvimento das capacidades que definimos, a partir da literatura discutida no capítulo 2, como aquelas que caracterizam a metavisualização e a competência representacional. São elas:

1. compreender as convenções de representação comumente utilizadas em Química, para os modos (e respectivos submodos) concreto, verbal, simbólico e visual;
2. traduzir um dado modelo entre os modos e submodos de representação;
3. construir uma representação em qualquer modo ou submodo adequado a um determinado propósito;
4. resolver novos problemas;
5. reconhecer a importância das representações na elaboração e comunicação das idéias dos cientistas;
6. criar novas convenções de representação.

Acreditamos que, ao identificar tais elementos do processo de ensino e justificar seu papel na compreensão dos modos e convenções de representação utilizados em Química, estaremos respondendo nossa primeira questão.

Consideraremos, principalmente, o processo de modelagem da substância cloreto de sódio, relacionando os elementos desse processo com as capacidades enumeradas acima. A escolha de tal processo se justifica pelo fato de ele ter sido aquele no qual os alunos vivenciaram todas as etapas inerentes à modelagem (utilização de evidências experimentais e concepções prévias, expressão, teste e reformulação dos modelos, e verificação da abrangência e limitações dos mesmos).

Os resultados apresentados anteriormente evidenciam que, ao elaborar modelos para esse composto, os estudantes puderam compreender o significado da representação simbólica NaCl (capacidade 1). Os alunos iniciaram o processo apoiados na idéia prévia de que a substância era constituída de moléculas, concepção alternativa bastante freqüente (Taber, 1994). No decurso das atividades, essa idéia foi abandonada e eles compreenderam que a fórmula da substância é uma representação da *proporção* entre os íons que a constituem. Essa compreensão decorreu de outra compreensão, também adquirida graças ao desenvolvimento das atividades: a noção de que só existe um tipo de interação entre as partículas constituintes da substância cloreto de sódio (os alunos acreditavam, inicialmente, na existência de forças menos intensas entre as moléculas de NaCl). As discussões entre os alunos e entre estes e a professora foram decisivas para que eles pudessem associar a alta temperatura de fusão do cloreto de sódio às interações entre as partículas que o constituem. Destacamos, ainda, que a idéia de proporção partiu dos próprios alunos, e foi expressa no momento em que o grupo apresentava seu modelo à turma, durante uma discussão na qual a professora buscava esclarecer aspectos do modelo.

As discussões relatadas no estudo de caso, no grupo e com a turma, ocorreram em todas as etapas do processo – especialmente nas situações em que os estudantes elaboraram, testaram e comunicavam seus modelos à turma. Elas constituem uma evidência de que os alunos estiveram engajados no processo. O momento em que ocorreu uma discordância entre o grupo investigado e o Grupo 3, quando alunas dos dois grupos defenderam suas idéias sobre tais interações, é um exemplo disso. Atribuímos esse envolvimento da turma ao interesse que as atividades de modelagem, devido a seu caráter instigante e desafiador, tendem a despertar nos estudantes.

As representações elaboradas pelos alunos decorreram de solicitações das atividades, as quais indicaram, em cada ocasião, com que propósito os modelos deveriam construídos (capacidade 3). Momentos que podemos destacar são aqueles em que os alunos precisaram elaborar modelos que explicassem: (i) a formação dos íons constituintes do cloreto de sódio; (ii) o valor da energia envolvida na formação

desses íons (na verdade, o cálculo desse valor); (iii) o tipo de interação entre esses íons; (iv) a estabilidade da substância formada em relação a seus constituintes iniciais (os átomos que lhe deram origem); (v) a alta temperatura de fusão do cloreto de sódio; (vi) o fato de que a energia liberada na formação de 1 mol de cloreto de sódio é maior do que aquela liberada quando se forma 1 mol de ligações na mesma substância; (vii) propriedades dos compostos iônicos (dureza, clivagem, serem quebradiços); (viii) o valor da energia de rede do cloreto de sódio (na verdade, o cálculo desse valor). Para cada um dos citados propósitos, os alunos precisaram utilizar os modos (e submodos) de representação adequados, a fim de expressar seu modelo mental. Conforme destacado no capítulo anterior, um dos fatores que contribuiu para que eles conseguissem elaborar tais modelos foi o fato de eles terem compreendido as convenções inerentes aos modelos elaborados (capacidade 1). É importante destacar que a escolha do material utilizado para elaborar os modelos tridimensionais (modo concreto) não foi imposta pela professora. Em todas as atividades, vários materiais foram disponibilizados e a opção por um deles foi feita pelos estudantes que, sempre, tiveram que justificá-la.

Entre os modos (e submodos) representacionais, a fim de cumprir os propósitos acima citados, os alunos utilizaram, respectivamente:

- (i) uma tabela (modo visual) contendo dados de energia de ionização e afinidade eletrônica dos elementos;
- (ii) a citada tabela (modo visual) e expressões matemáticas (modo simbólico);
- (iii) explicação escrita (modo verbal) sobre as forças de atração eletrostática;
- (iv) metáforas (modo verbal) relacionadas à idéia de estabilidade (quando o esperado era que tivessem utilizado a idéia de abaixamento de conteúdo energético representada pelo gráfico poço de potencial – modo visual);
- (v) modelos tridimensionais (modo concreto) e desenhos (modo visual), além de justificativa escrita (modo verbal);
- (vi) modelos tridimensionais (modo concreto) e desenhos (modo visual), além de justificativa escrita (modo verbal);

- (vii) modelos tridimensionais (modo concreto) e justificativa escrita (modo verbal), relacionando o nível macroscópico (propriedades dos compostos iônicos) com o nível submicroscópico (do qual emergem tais propriedades);
- (viii) tabela (modo visual) contendo dados de valores energéticos envolvidos em todas as etapas da formação do cloreto de sódio, os símbolos, fórmulas e equações químicas que representam essas etapas e expressões matemáticas (modo simbólico) que representam o cálculo da energia de rede, além da interpretação do significado físico desse cálculo (modo verbal).

Portanto, os alunos tiveram a oportunidade de trabalhar com os principais modos representacionais utilizados em Química, de uma maneira coerente e crítica, o que não teria ocorrido em uma situação de ensino tradicional de ligação iônica. Por exemplo, tradicionalmente, não se utilizam dados de energia de ionização e afinidade eletrônica para explicar a formação de íons e, na estratégia de ensino considerada, os alunos precisaram interpretar esses dados em uma tabela, a fim de elaborar sua explicação.

Além disso, os estudantes puderam, em uma atividade em que reelaboravam seu modelo, optar por um modo diferente do solicitado (desenho, modo visual), por terem considerado “*mais prático*”, naquela ocasião. Tal praticidade decorreu exatamente, como discutido no capítulo anterior, do fato de eles julgarem a elaboração do modelo concreto dispensável, uma vez que já haviam visualizado claramente o sistema em questão.

Ainda em relação à utilização dos modos e submodos representacionais (decorrência das capacidades 1, 2 e 3), uma aluna do grupo criou um novo modo de representação (capacidade 5), utilizando objetos que não haviam sido disponibilizados pela professora. Tal fato ocorreu durante discussão no grupo, em que os colegas procuravam se fazer entender. Concluímos que a atividade de modelagem em que os alunos estavam envolvidos, naquele momento, buscando explicar a energia liberada na formação do cloreto de sódio, favoreceu o evento descrito, pois a necessidade de

explicar seu modelo mental de forma clara durante a discussão com os colegas foi o elemento que suscitou a utilização daqueles objetos na construção de um modelo expresso que, efetivamente, lhe ajudasse em sua tarefa.

Como destacamos na revisão bibliográfica, a capacidade de transpor de um nível representacional para outro é fundamental para a aprendizagem de ciências (Gilbert, 2008) e de Química, em especial. Em cada um dos níveis, é necessário traduzir entre diferentes modos (e submodos) de representação (capacidade 2). Esse elemento foi observado em várias atividades descritas neste trabalho. No caso dos modelos referentes ao cloreto de sódio, destacamos a ocorrência de diversas traduções, conforme apresentamos no Quadro 4.3. As atividades de modelagem favoreceram, de maneira especial, a capacidade de traduzir representações entre o modo concreto e o modo visual, na medida em que solicitaram, em várias ocasiões, que os alunos produzissem desenhos a partir do modelo concreto. Esse tipo de tradução não é tradicionalmente solicitado durante a aprendizagem de ligação iônica, uma vez que os modelos (pseudo-tridimensionais e bidimensionais) costumam ser apresentados aos estudantes de maneira declarativa, em textos didáticos e aulas expositivas. Conforme destacamos no capítulo 2, em geral, livros didáticos não trazem orientações sobre como uma representação pode ser traduzida em outra (Treagust et al., 2000).

Mesmo considerando a possibilidade de o professor apresentar modelos concretos aos alunos, permitindo o manuseio dos mesmos, não se pode garantir que ocorrerá a transposição destes para o modo bidimensional. Essa afirmativa se sustenta, em primeiro lugar, na literatura, que aponta para dificuldades dos estudantes em: construir representações equivalentes para uma dada representação (Tuckey & Selvaratnam, 1993); relacionar os modos bidimensional e tridimensional (Wu et al., 2001); conectar diferentes modos de representação (Gabel, 1999; Treagust et al., 2003). Em segundo lugar, acreditamos que, para que os estudantes façam traduções entre modos representacionais, é importante que sejam solicitados a tal, pois não se pode garantir que eles o façam de maneira espontânea. Nesse sentido, as atividades descritas neste trabalho favoreceram a citada transposição, solicitada

diversas vezes. Além disso, consideramos relevante o momento em que os alunos compararam os modelos concretos (para os cloretos de céσιο e lítio, e outras substâncias iônicas), fornecidos pela professora, com as projeções dos mesmos em modo bidimensional. Nessa ocasião, a turma se manifestou de maneira geral, indicando que os estudantes, incluindo os do grupo 1, conseguiram fazer conexões coerentes entre as representações.

O Questionário pós-instrução forneceu aos alunos a oportunidade de comparar diferentes representações para uma mesma entidade, de maneira a fazer conexões entre elas. Além disso, eles precisaram fazer traduções para o modo verbal, na medida em que precisaram usar palavras para identificar e analisar aspectos das representações e explorar metáforas. Esta foi mais uma evidência de que os alunos foram capazes de transpor um dado modo (ou submodo) de representação em outro.

Os momentos em que os modelos para o cloreto de sódio foram comunicados para a turma suscitaram a necessidade de que os alunos utilizassem o modo verbal (capacidade 1), a fim de identificar aspectos das representações e descrever as entidades e suas relações (ao explicitar o significado das bolinhas e palitos). O modo verbal foi igualmente solicitado, em todas as atividades escritas, na medida em que as mesmas requeriam justificativas e explicações sobre os modelos elaborados e sobre a escolha do material utilizado. Nessas ocasiões, a capacidade de traduzir as diversas representações para o modo verbal (capacidade 2) foi também verificada.

Ainda no que se refere ao modo verbal, a argumentação, fundamental ao discurso dos cientistas e desejável em estudantes de ciências, foi requisitada nas situações em que os alunos precisaram discutir aspectos do modelo, durante a elaboração e a comunicação do mesmo. Em tais situações, eles utilizaram representações verbais, em conjunto com outros tipos de representação. Kozma e Russell (2005) consideram que a utilização de representações, de maneira reflexiva e retórica, é uma capacidade que demanda habilidades de maior nível de competência representacional, verificadas quando uma pessoa utiliza representações para explicar

um fenômeno, estabelecendo relações entre as propriedades físicas e as entidades e processos subjacentes. Por exemplo, ao utilizar modelos da estrutura do cloreto de sódio para justificar a sua alta temperatura de fusão, é necessário explicar que as interações representadas pelos palitos (no caso do modelo concreto) ou traços (no caso do desenho) apresentam a mesma intensidade.

Destacamos que atividades em que os estudantes se envolvem em discussões acerca do que lhes é ensinado (como as atividades de modelagem aqui descritas), apresentam grande potencial para desenvolver habilidades argumentativas (Erduran et al., 2004). Nesse sentido, as atividades consideradas neste trabalho favoreceram o desenvolvimento de tais habilidades, pois demandaram discussões, durante a elaboração dos modelos e comunicação das idéias entre os colegas, no grupo. Por exemplo, uma aluna do grupo 1 discordou dos colegas, durante a elaboração do modelo inicial, sobre a existência de forças de diferentes intensidades no cristal do cloreto de sódio. Na ocasião, essa aluna sustentou sua idéia, por meio do argumento de que as interações deveriam ser iguais, uma vez que, ao se fundir a substância, ocorre separação de todas as partículas constituintes do cristal. Na comunicação do modelo à turma, ela voltou a apresentar esse argumento. Além disso, os alunos tiveram que tentar “convencer” a turma da validade de seus modelos. O momento da discussão entre os grupos 1 e 3 ilustra isso, muito embora as estudantes nem sempre tivessem conseguido sustentar suas idéias por meio de argumentações pertinentes.

A capacidade de resolver novos problemas (capacidade 4) também pôde ser verificada, conforme apresentado no Quadro 4.6. Os alunos precisaram verificar se seu modelo explicava novos dados (a alta temperatura de fusão do cloreto de sódio e o valor da energia liberada em sua formação), introduzidos pela professora após a elaboração do modelo inicial para o cloreto de sódio. Para tal, eles testaram seus modelos, etapa descrita no diagrama Modelo de Modelagem. Eles precisaram, ainda, explicar propriedades de compostos iônicos (isto é, considerar a abrangência de seu modelo, outra etapa do processo de modelagem), além de calcular sua energia de rede. Ao resolver tais problemas, a compreensão dos modos e convenções

representacionais foi requisitada, uma vez que não teria sido possível justificar por que seus modelos explicavam (ou não) os novos dados, sem utilizar representações.

Acreditamos, ainda, que as questões propostas nas atividades envolveram problemas que não seriam passíveis de resolução por meio de algoritmos, que são freqüentemente utilizados pelos estudantes, conforme relatos da literatura (por exemplo, Gabel, 1999; Nakhleh et al., 1996; Sawrey, 1990). Nossa crença se sustenta no fato de que, segundo Gabel et al. (1987), os conceitos envolvidos no problema precisam ser bem compreendidos, além de ser necessário que os estudantes o descrevam de acordo com seu próprio referencial. Os problemas propostos nas atividades aqui consideradas envolviam situações em que os estudantes foram solicitados a justificar escolhas, fazer previsões, explicar por que e como algo acontece, o que, segundo Haláková e Proksa (2007), configura questões conceituais.

Gilbert (2008) considera, conforme discutido anteriormente, a existência de *representações externas* e *representações internas*. Vários trabalhos (por exemplo, Cook et al., 2008; Kozma & Russell, 1997) investigaram situações em que representações externas são *apresentadas* aos estudantes, levando à formação de representações internas pessoais. No caso particular desta pesquisa, acreditamos que, em algumas situações, a representação interna se antecipou à externa. Isto porque os modelos (concretos, desenhos, verbais etc.) propostos pelos estudantes se formaram primeiro em suas mentes (eram modelos mentais, representações internas) para depois serem “materializados” (se tornarem modelos expressos, representações externas). Por outro lado, reconhecemos que, em outras situações, as representações internas foram propostas, ou modificadas, a partir de uma representação externa elaborada anteriormente (pelos próprios alunos ou por seus colegas de outros grupos). Por exemplo, na ocasião em que o grupo 1 apresentou, pela primeira vez, seu modelo à turma, a professora perguntou a eles se o fato de os colegas de outros grupos, que já haviam comunicado seus modelos, terem, em sua maioria, admitido que não existiam interações intermoleculares, havia contribuído para que eles modificassem sua idéia inicial. Os alunos responderam que sim, o que consideramos uma evidência de que sua

representação interna foi modificada a partir da representação externa apresentada pelos colegas de outros grupos.

O fato de que os alunos, no desempenho das atividades aqui descritas, não apresentaram um desempenho uniforme (Quadros 4.1 a 4.7), dá suporte a conclusões a respeito da influência da estratégia de ensino sobre a compreensão a respeito dos modos e convenções de representação. Por exemplo, em todas as atividades em que os alunos identificaram e utilizaram modelos concretos, todos apresentaram desempenho total. Por outro lado, nas atividades que envolveram desenhos, os alunos apresentaram melhora crescente nas atividades que se referiam ao modelo para o cloreto de sódio, seguida por um desempenho mais baixo em questões que envolveram o mesmo submodo de representação no Questionário pós-instrução. Todavia, devemos considerar que, em comparação com as atividades de modelagem para o cloreto de sódio, tal questionário foi uma atividade de caráter diferente, uma vez que os alunos trabalharam individualmente, sem participar de discussões com colegas. Portanto, consideramos que isto pode ter influenciado o desempenho dos estudantes. Reconhecemos, ainda, a possibilidade de que o desempenho do grupo pode se dever fortemente à influência das idéias de alguns indivíduos sobre as de seus colegas.

Segundo Kozma e Russell (2005), o desempenho da competência representacional não é necessariamente uniforme ou linear, pois uma pessoa pode apresentar comportamentos associados a um nível mais alto em um contexto e a níveis mais baixos em outros. Portanto, os alunos podem ter obtido melhora em sua capacidade de visualização, por meio do processo de modelagem que vivenciaram, mesmo que isto não tenha se manifestado totalmente em todas as atividades e/ou para todos os modos de representação.

Nossos dados evidenciam que os alunos melhoraram sua compreensão geral sobre os modos e convenções de representação. Porém, reconhecemos que, para que pudéssemos afirmar que eles realmente desenvolveram essa compreensão, seria

necessário acompanhá-los em outros momentos, nos quais pudessem trabalhar com os elementos aqui investigados em outras situações que envolvam modelagem.

Assim, nosso trabalho corrobora os resultados de outras pesquisas (por exemplo, Justi et al., 2009; Lord, 1985; Michalchik et al., 2008; Tuckey et al., 1991), que demonstram ser possível melhorar a capacidade de visualização. Kozma e Russell (1997) acreditam que o favorecimento de situações em que os estudantes trabalhem com representações, mas engajados na criação de modelos variados e, principalmente, na reflexão sobre seus significados pode promover o desenvolvimento da competência representacional. Situações desse tipo foram amplamente favorecidas pelas atividades de modelagem que constituem a estratégia de ensino de ligação iônica.

Além disso, os alunos trabalharam em grupo e utilizaram várias representações, enquanto conversavam sobre conceitos químicos, a fim de descrever, explicar, questionar e discutir tais conceitos. Kozma e Russell (1997) sugerem que essa maneira de trabalhar pode auxiliar no desenvolvimento da competência representacional dos estudantes.

Gilbert (2005) recomenda que se utilize a maior variedade possível de modos e submodos de representação e que estes sejam introduzidos de maneira deliberada, constante e sistemática. Durante o desenvolvimento das atividades descritas em nosso trabalho, podemos afirmar que as representações foram introduzidas, e em alguns momentos, solicitadas, da maneira recomendada por este autor. Por exemplo, a partir da representação simbólica para o cloreto de sódio (sua fórmula), fornecida na Atividade 5, os alunos elaboraram outras representações (visuais e concretas) para essa substância, justificando, verbalmente, esses modelos. Além disso, em diversos momentos, foram introduzidas outras representações (tabelas, equações químicas), com as quais eles tiveram que lidar, a fim de testar e reelaborar seus modelos iniciais. Nesse sentido, as atividades de modelagem para o ensino de ligação iônica forneceram aos alunos a oportunidade de trabalhar com todos os modos representacionais (simbólico, concreto, visual e verbal).

Nosso trabalho corrobora as conclusões do trabalho relatado em Justi et al. (2009), no qual os autores descrevem os resultados da aplicação de atividades de modelagem para o ensino do tema equilíbrio químico e destacaram as evidências do desenvolvimento de capacidades de visualização, considerando os momentos em que houve transposição entre os níveis representacionais macroscópico, submicroscópico e simbólico. Dentre as evidências destacadas no citado trabalho, aquelas que consideramos comuns ao que desenvolvemos, no que se refere à transposição entre níveis, são:

- as representações externas não foram consideradas pelos alunos como sendo cópias do sistema macroscópico (por exemplo, as cores utilizadas pelos alunos, verde e laranja, para representar os íons, não apresentam nenhum tipo de relação com a cor da entidade modelada, cloreto de sódio, um sal branco);
- os alunos forneceram explicações para propriedades macroscópicas (temperatura de fusão, dureza, clivagem) do cloreto de sódio baseados nas interações entre partículas e arranjo cristalino dessa substância (forças de atração e repulsão eletrostática), o que evidencia que eles foram capazes de transpor do nível macroscópico para o nível submicroscópico;
- a representação no nível simbólico, para o cloreto de sódio (sua fórmula), suscitou, nos alunos, diferentes interpretações, ao longo do processo (mudança da idéia de moléculas de NaCl para a idéia de proporção entre íons);
- os estudantes, ao compreenderem fluentemente as representações com as quais estavam trabalhando, optaram por um desenho, no lugar de um modelo concreto, para representar a estrutura submicroscópica do cloreto de sódio (nesse caso, não se trata de uma transposição entre níveis, mas entre modos representacionais, o que não exclui a evidência de fluência aqui destacada).

Nosso trabalho, portanto, se encontra entre aqueles que evidenciam a possibilidade de melhorar a compreensão dos modos e convenções de representação utilizados em Química, por meio de atividades de modelagem.

SEGUNDA QUESTÃO DE PESQUISA

Nossa segunda questão de pesquisa era: Como atividades de modelagem podem contribuir para a compreensão do papel de representações no processo de elaboração e comunicação do conhecimento científico? Visando respondê-la, buscamos identificar os elementos do processo de ensino que favoreceram o reconhecimento, pelos estudantes, da importância dos modelos na elaboração das idéias dos cientistas e na comunicação dessas idéias. Tal identificação ocorreu a partir da fala dos próprios estudantes durante o processo de ensino ou nas entrevistas.

Todos os alunos reconheceram que os modelos desempenham um papel fundamental no trabalho dos cientistas, tanto no questionário pós-instrução quanto nas entrevistas. Tal reconhecimento foi, muitas vezes, justificado a partir de aspectos das atividades de modelagem vivenciadas por eles, nas aulas sobre ligação iônica.

Depoimentos dos alunos (do grupo 1 e dos outros grupos), nas entrevistas, são exemplos de como eles justificaram a importância das representações. Todos aqueles que foram questionados a esse respeito afirmaram considerar que as representações foram importantes durante a elaboração de seu modelo e que a apresentação deste para a turma trouxe contribuições valiosas ao processo vivenciado pelo grupo. Por exemplo, a aluna A1G1 declarou ter sido necessário, no trabalho de elaborar o modelo, utilizar representações. Ela destacou essa necessidade *“principalmente na hora de explicar para o outro”* pois, segundo a aluna, é uma maneira de o colega *“ver mesmo como é que é, como é que tá na sua cabeça.”* A mesma aluna declarou considerar o momento em que o modelo foi apresentado à turma como tendo sido uma oportunidade de *“pensar coisas diferentes”*. Segundo ela, o grupo tende a *“pensar mais ou menos do mesmo jeito”* e que outros colegas da turma podem *“ter outros*

questionamentos” que não haviam surgido no trabalho em grupo. O aluno A5G4 demonstrou, em sua entrevista, compartilhar da opinião de A1G1, utilizando expressões de sentido equivalente àquele dado pela colega (por exemplo, *“conhecer outros pontos de vista”*, ao justificar a utilidade do momento de socialização do modelo).

As declarações dos alunos, que relataram situações por eles vivenciadas, dão suporte a nossa crença em que as atividades de modelagem contribuíram para que eles reconhecessem o papel das representações no trabalho dos cientistas. No questionário, ao se referirem ao contexto científico, os alunos se valeram de termos como *“visualização”*, *“nova formulação”*, *“imagem que quebra barreiras”*, *“ilustrar teorias”*, destacando a importância das representações para a produção e comunicação do conhecimento científico. Também nas entrevistas, é possível destacar momentos em que os alunos compararam o processo vivenciado com o trabalho científico. Exemplo disso é a declaração de A2G3, referindo-se à constatação de que os dois processos (modelagem nas aulas e trabalho dos cientistas) envolvem experimentos, a fim de se testar modelos. Ela destacou a diferença afirmando que *“igual a gente pensa, eles fazem concreto”*, fazendo referência ao fato de que em sala, eles haviam conduzido experimentos mentais.

Segundo Justi e Gilbert (2002a), uma das vantagens do ensino por meio de modelagem é a possibilidade de os alunos avaliarem o papel dos modelos na credibilidade e disseminação do conhecimento científico. Atividades de modelagem, de acordo com Gilbert et al. (2000), apresentam o potencial para conscientizar os alunos sobre a importância dos modelos e modelagem na ciência. Durante as atividades aqui descritas, ao participar do processo de elaboração dos modelos, os estudantes tiveram a oportunidade de protagonizar situações em que precisaram elaborar e expressar seus modelos mentais (o que não teria sido possível sem que eles se servissem de representações, fato que, novamente, nos remete à primeira questão de pesquisa). Além disso, eles tiveram que expor tais modelos à apreciação de seus colegas, submetendo-os à validação ou rejeição pelos pares.

Consideramos que os alunos aqui investigados vivenciaram um processo de modelagem comparável ao trabalho dos cientistas (utilização de evidências empíricas e idéias prévias, expressão dos modelos, teste e reformulação dos modelos, e verificação da abrangência e limitações dos modelos) na produção de conhecimentos. O fato de terem trabalhado em grupo, engajados na resolução de problemas, participando de discussões e construindo conjuntamente os conhecimentos, aproximou a situação da sala de aula daquela experimentada pelos cientistas. Essa constatação corrobora a conclusão do trabalho de Michalchik et al. (2008), que analisou o comportamento de estudantes durante atividades em que construíram seus próprios modelos, trabalhando em grupos.

Os resultados discutidos no capítulo 4 evidenciam que as atividades desenvolvidas nas aulas contribuíram, de maneira decisiva, para que os alunos pudessem compreender que as representações são fundamentais para o trabalho científico. Considerando a necessidade de se promover situações de ensino que sejam mais autênticas, é fundamental que ocorra tal reconhecimento, por parte dos estudantes.

CAPÍTULO 6. IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO E PESQUISAS NA ÁREA

Os resultados deste trabalho sustentam nossa crença de que atividades de modelagem podem contribuir para que os estudantes reconheçam a necessidade de conhecer (e saber quando e como empregar) os modos e convenções de representação utilizados em Química. Ao experimentar o processo de elaboração e reelaboração de modelos, eles têm a oportunidade de perceber, por si mesmos, que é necessário apresentar um desempenho fluente em representações, sem as quais não é possível construir e expressar modelos mentais e, mesmo, compreender modelos expressos.

Acreditamos, ainda, que a visão dos alunos, sobre o que são e para que servem os modelos também pode ser modificada por meio de atividades de modelagem. Essas atividades apresentam o potencial para auxiliar os estudantes a adquirir a noção de que modelos: são representações parciais (simplificações) de um objeto, fenômeno ou idéia; auxiliam na visualização de entidades abstratas; são explicativos. Além disso, eles podem reconhecer a possibilidade de existência de múltiplos modelos para representar uma mesma entidade.

Destacamos, também, que atividades de modelagem, em que os alunos trabalham em grupo, podem contribuir para que eles abandonem a visão ingênua, bastante comum, segundo Kosminsky e Giordan (2002), de que o trabalho dos cientistas enfatiza o caráter experimental e desconsidera elaborações teóricas e troca de informações. Nesse sentido, acreditamos no potencial da aprendizagem cooperativa (Shibley Jr. & Zimmaro, 2002) que caracteriza estratégias de ensino como a que descrevemos neste trabalho, em que as etapas descritas pelo diagrama Modelo de Modelagem sejam vivenciadas pelos estudantes, sob a supervisão de professores preparados para conduzir discussões que promovam a aprendizagem dos modelos curriculares pelos alunos.

Concordamos com a afirmação de Gilbert (2008), segundo a qual a visualização apresenta papel vital na aprendizagem desses modelos curriculares. Nesse sentido,

esta pesquisa se insere no contexto dos trabalhos que consideram importante promover situações em que os alunos construam conhecimentos químicos por meio de estratégias em que possam desenvolver também sua capacidade de visualização.

Considerando a importância de que as aprendizagens comentadas acima sejam promovidas no contexto escolar, julgamos fundamental que os professores se preparem para conduzir aulas como as que aqui foram relatadas, em que modelos são elaborados pelos estudantes, sob sua orientação. É necessário, portanto, que os professores busquem adquirir ou aprimorar seus conhecimentos sobre modelos e modelagem, e sobre níveis representacionais, modos e convenções de representação em Química. Nesse sentido, este trabalho pode contribuir para a preparação dos professores, na medida em que discute tais temas, assim como a importância dos mesmos para um ensino de química mais autêntico (Gilbert, 2004), tanto a partir da literatura quanto a partir de uma pesquisa conduzida em uma situação regular de ensino.

Este trabalho pode contribuir, também, para a conscientização dos professores sobre a necessidade de verificar quais são os significados atribuídos por seus alunos às representações que lhes são apresentadas, a fim de evitar que visualizações inadequadas acarretem concepções alternativas e comprometam a aprendizagem.

A partir do que foi aqui exposto, emergem deste trabalho sugestões para futuras pesquisas, as quais poderão contribuir para a ampliação do conhecimento na área de ensino de ciências e, em segunda instância, para a formação de professores de ciências. Consideramos importante que sejam desenvolvidos outros trabalhos com o objetivo de responder as seguintes questões de pesquisa:

- Como os estudantes conectam representações externas e internas?
- Quais as implicações, na prática docente, do reconhecimento da necessidade de se desenvolver a capacidade de visualização dos alunos?
- De que maneira o professor pode avaliar a capacidade de visualização de seus alunos no cotidiano da sala de aula?

A sugestão dessas questões de pesquisa se justifica por sua importância, no contexto do que foi discutido nesse trabalho e no das pesquisas citadas no capítulo 2. Investigações dessas questões poderiam fornecer resultados que permitissem delinear conclusões complementares acerca do desenvolvimento da capacidade de visualização dos estudantes e de sua avaliação.

Como destacado anteriormente, o processo de modelagem que aqui foi descrito envolveu principalmente a formação inicial de representações internas, e de representações externas, modelos expressos das primeiras. No entanto, é fundamental a compreensão de como os estudantes conectam representações externas que lhes são apresentadas com as representações internas que se formam em suas mentes, a partir das primeiras, para que os professores possam elaborar estratégias de ensino que promovam visualizações adequadas à aprendizagem que se propuserem a promover. Mammino (2008) destaca que representações externas, que podem ser grandes auxiliares na aprendizagem dos estudantes, podem ter suas vantagens comprometidas pela maneira como os estudantes as trabalham mentalmente. Outros autores, como por exemplo, Ainsworth (2008) e Cook et al. (2008), também chamam a atenção para os cuidados ao se utilizar representações externas e para o suporte necessário aos alunos, para que estas representações sejam úteis no processo de aprendizagem. A investigação de como essas conexões entre representações são feitas pelos estudantes poderia lançar luz sobre um tema discutido por Coll e Treagust (2003): a dificuldade em se ter acesso a representações internas.

Nesse sentido, seria importante investigar os impactos do reconhecimento, por parte do professor, da necessidade de se melhorar a capacidade de visualização de seus estudantes, em sua prática docente. A compreensão das representações se reflete na aprendizagem de Química (Michalchik et al., 2008) e a maneira como o professor passa a conduzir suas aulas a partir dessa consciência precisa ser investigada, no sentido de se procurar propor estratégias e intervenções que realmente possam promover essa compreensão.

Decorrente disso, faz-se necessário que o professor se conscientize de seu papel facilitador no aprimoramento da capacidade de visualização de seus alunos, promova situações em que seja possível verificar o desenvolvimento de seus alunos no cotidiano. Acreditamos que tal capacidade deva ser avaliada sistematicamente, de uma maneira diferenciada das avaliações convencionais. Pesquisas sobre esse tema poderiam sugerir formas de avaliação que considerem as especificidades dessa capacidade. Trabalhos como os de Kozma e Russell (2005) e Tuckey e Selvaratnam (1993) admitem ser possível desenvolver a capacidade de visualização, de forma crescente, com a idade e o fornecimento de oportunidade de trabalhar com representações. No entanto, esses autores não apontam para formas de se avaliar a aquisição ou melhora dessa capacidade. Nesse sentido, a investigação desta questão poderia trazer novas e importantes contribuições para o conhecimento na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ainsworth, S. (2008). The Educational Value of Multiple-representations when Learning Complex Scientific Concepts. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3, pp. 191-208). Dordrecht: Springer.
- Barke, H. D., & Engida, T. (2001). Structural Chemistry and Spatial Ability in Different Cultures. *Chemistry education: Research and Practice in Europe*, 2(3), 227-239.
- Barnea, N., & Dori, Y. J. (1996). Computerized Molecular Modeling as a Tool To Improve Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 36(4), 629-636.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. S., & Silberstein, J. (1986). Is an Atom of Copper Malleable? *Journal of Chemical Education*, 63(1), 64-66.
- Boo, H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581.
- Briggs, M., & Bodner, G. (2005). A Model of Molecular Visualization. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 61-72). Dordrecht: Springer.
- Capecchi, M. C. V. M., & Carvalho, A. M. P. (2000). Argumentação em uma Aula de Conhecimento Físico com Crianças na Faixa de Oito a Dez Anos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5, 171-189.
- Carvalho, N. B., Queiroz, A. S., Justi, R. S., & Bastos, D. R. (2006). *O Processo de Modelagem na Elaboração de uma Atividade sobre Interações Intermoleculares*. Paper presented at the XIII Encontro Nacional de Ensino de Química, Unicamp, Campinas, SP.
- Chittleborough, G. D. (2004). *The Role of Teaching Models and Chemical Representations in Developing Students' Mental Models of Chemical Phenomena*. Curtin University of Technology.
- Clement, J. J. (2008a). Depictive Gestures and Other Case Study Evidence for Use of Imagery by Experts and Students. In *Creative Model Construction in Scientists and Students* (pp. 171-204). Dordrecht: Springer.
- Clement, J. J. (2008b). Student/Teacher Co-construction of Visualizable Models in Large Group Discussion. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 11-22). Dordrecht: Springer.
- Clement, J. J., & Steinberg, M. S. (2008). *Case Study of Model Evolution in Electricity: Learning from Both Observations and Analogies*. Dordrecht: Springer.
- 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 and Analogies in Chemistry Teaching. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (Vol. 30, pp. 65-77). Dordrecht: Springer.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2001). Learners' Mental Models of Chemical Bonding. *Research in Science Education*, 31, 357-382.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2003). Investigation of Secondary School, Undergraduate, and Graduate Learners' Mental Models of Ionic Bonding. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 464-486.
- Cook, M. P. (2006). Visual Representations in Science Education: The Influence of Prior Knowledge and Cognitive Load Theory on Instructional Design Principles. *Science Education*, 90, 1073-1091.
- Cook, M. P., Wiebe, E. N., & Carter, G. (2008). The Influence of Prior Knowledge on Viewing and Interpreting Graphics with Macroscopic and Molecular Representations. *Science Education*, 92(5), 848-867.
- Cotton, F. A., & Wilkinson, G. (1978). *Química Inorgânica*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora.
- Dori, Y. J., & Belcher, J. (2005). Learning Electromagnetism With Visualizations and Active Learning. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 187-216). Dordrecht: Springer.
- Driver, R. (1983). *The Pupil as Scientist?* England: Open University Press.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An Emerging Field with Implications for Chemistry Education. *Science & Education*, 10(6), 581-593.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPPING into Argumentation: Developings in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. *Science Education*, 88, 915-933.
- Fernandez, C., & Marcondes, M. E. R. (2006). Concepções dos Estudantes sobre Ligação Química. *Química Nova na Escola*, 24.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Gabel, D., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the Particulate Nature of Matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695-697.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning: a synthesis* (pp. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to a More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.

- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A Metacognitive Skill in Science and Science Education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 9-27). Dordrecht: Springer.
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3, pp. 3-24). Dordrecht: Springer.
- 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, J. K., Reiner, M., & Nakhleh, M. (Eds.). (2008). *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3). Dordrecht: Springer.
- Gobert, J. D. (2005). Leveraging Technology and Cognitive Theory on Visualization to Promote Students' Science Learning and Literacy. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 73-90). Dordrecht: Springer.
- Haláková, Z., & Proksa, M. (2007). Two Kinds of Conceptual Problems in Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 84(1), 172-174.
- Halpine, S. M. (2004). Introducing Molecular Visualization to Primary Schools in California: The STArt! teaching Science Through Art Program. *Journal of Chemical Education*, 81(10), 1431-1436.
- Hoffmann, R., & Laszlo, P. (1991). Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 30(1), 1-112.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and Microchemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A. H. (1993). The Development of Chemistry Teaching: A Changing Response to Changing Demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Justi, R. (2006). La Enseñanza de Ciencias Basada en la Elaboración de Modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 173-184.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, Teachers' Views on the Nature of Modelling, and Implications for the Education of Modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002b). Science Teachers' Knowledge About and Attitudes Towards the Use of Models and Modelling in Learning Science. *Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Justi, R., Gilbert, J. K., & Ferreira, P. F. M. (2009). The Application of a 'Model of Modelling' to Illustrate the Importance of Metavisualization in Respect of the Three Levels of Representation. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 285-308). Dordrecht: Springer.

- Kleinman, R. W., Griffin, H. C., & Kerner, N. K. (1987). Images in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(9), 766-770.
- Kosminsky, L., & Giordan, M. (2002). Visões de Ciências e Sobre Cientistas Entre Alunos do Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, 15, 11-18.
- 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.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 121-146). Dordrecht: Springer.
- Lord, T. R. (1985). Enhancing the Visuo-Spatial Aptitude of Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 395-405.
- Macedo, L. (2005). Competências e Habilidades: Elementos para uma Reflexão Pedagógica. In J. S. Moraes (Ed.), *Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM): Fundamentação Teórico-Pedagógica* (pp. 13-28). Brasília: O Instituto (INEP / MEC).
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-603.
- Mammino, L. (2008). Teaching Chemistry with and Without External Representations in Professional Environments with Limited Resources. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3, pp. 155-185). Dordrecht: Springer.
- 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. (2008). *'Ligando' as Idéias dos Alunos à Ciência Escolar: Análise do Ensino de Ligação Iônica por Modelagem*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2009a). Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte I. *Educación Química*, 20, 282-293.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2009b). Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte II. *Educación Química*, 20, 373-382.
- Michalchik, V., Rosenquist, A., Kozma, R. B., Kreikemeier, P., & Schank, P. (2008). Representational Resources for Constructing Shared Understandings in the High School Chemistry Classroom. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3, pp. 233-282). Dordrecht: Springer.

- Mortimer, E. F. (1994). Regra do Octeto e Teoria da Ligação Química no Ensino Médio: Dogma ou Ciência? *Química Nova*, 17, 243-252.
- Nakhleh, M. (1992). Why Some Students Don't Learn Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- Nakhleh, M. (1993). Are Our Students Conceptual thinkers or Algorithmic problem Solvers? *Journal of Chemical Education*, 70(1), 52-55.
- Nakhleh, M., Lowrey, K. A., & Mitchell, R. C. (1996). Narrowing the Gap between Concepts and Algorithms in Freshman Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 73(8), 758-762.
- Nakhleh, M., & Mitchell, R. C. (1993). Concept Learning versus Problem Solving. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 190-192.
- Nakhleh, M., & Postek, B. (2008). Learning Chemistry Using Multiple External Representations. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3, pp. 209-231). Dordrecht: Springer.
- Queiroz, S. L. (2001). A Linguagem Escrita nos Cursos de Graduação em Química. *Química Nova*, 24(1), 143-146.
- Ramadas, J. (2009). Visual and Spatial Modes in Science learning. *International Journal of Science Education*, 31(3), 301-318.
- Rapp, D. N. (2005). Mental Models: Theoretical Issues for Visualizations in Science Education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 43-60). Dordrecht: Springer.
- Rapp, D. N., & Kurby, C. A. (2008). The 'Ins' and 'Outs' of Learning: Internal Representations and External Representations. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3, pp. 29-52). Dordrecht: Springer.
- Rappoport, L. T., & Ashkenazi, G. (2008). Connecting Levels of Representation: Emergent versus submergent perspective. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1585-1603.
- Ribeiro, C. (2003). Metacognição: Um Apoio ao Processo de Aprendizagem. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 16(1), 109-116.
- Russell, J., & Kozma, R. B. (2005). Assessing Learning From the Use of Multimedia Chemical Visualization Software. In Dordrecht (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 299-332). Dordrecht: Springer.
- Sawrey, B. A. (1990). Concept Learning versus Problem Solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67(3), 253-254.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.

- Shibley Jr., I. A., & Zimmaro, D. (2002). The Influence of Collaborative Learning on Student Attitudes and Performance in an Introductory Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 745-748.
- Stieff, M., Bateman, R. C. J., & Uttal, D. H. (2005). Teaching and Learning with Three-Dimensional representations. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 93-118). Dordrecht: Springer.
- Taber, K. S. (1994). Misunderstanding the Ionic Bond. *Education in Chemistry*, 31, 100-103.
- Taber, K. S., & Coll, R. K. (2003). Bonding. In J. K. Gilbert, O. D. Jong, R. Justi, D. F. Treagust & H. V. Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 213-234). Dordrecht: Kluwer.
- Tasker, R., & Dalton, R. (2008). Visualizing the Molecular World - Design, Evaluation and Use of Animations. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3, pp. 103-131). Dordrecht: Springer.
- Trafton, J. G., Trickett, S. B., & Mintz, F. E. (2005). Connecting Internal And External Representations: spatial Transformations of Scientific Visualizations. *Foundations of Science*, 10, 89-106.
- Treagust, D. F., & Chittleborough, G. (2001). Chemistry: A Matter of Understanding Representations. *Subject-Specific Instructional Methods and Activities*, 8, 239-267.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Treagust, D. F., Reinders, D., & Nieswandt, M. (2000). Sources of Students' Difficulties in Learning Chemistry. *Educación Química*, 11, 228-235.
- Tuckey, H., & Selvaratnam, M. (1993). Studies Involving Three-Dimensional Visualization Skills in Chemistry: A Review. *Studies in Science Education*, 21, 99-121.
- Tuckey, H., Selvaratnam, M., & Bradley, J. (1991). Identification and Rectification of Student Difficulties Concerning Three-Dimensional Structures, rotation, and Reflection. *Journal of Chemical Education*, 68(6), 460-464.
- Tversky, B. (2005). Prolegomenon to Scientific Visualizations. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 29-42). Dordrecht: Springer.
- Uttal, D. H., & O'Doherty, K. (2008). Comprehending and Learning from 'Visualizations': A Developmental Perspective. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Vol. 3, pp. 53-72). Dordrecht: Springer.

- van der Valk, T., van Driel, J. H., & de Vos, W. (2007). Common Characteristics of Models in Present-day Scientific Practice. *Research in Science Education, 37*, 469-488.
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *Journal of Science Education and Technology, 8*(1), 3-19.
- Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching, 38*(7), 821-842.

ANEXOS

ANEXO 1. ROTEIRO BÁSICO DAS ENTREVISTAS

Entrevistas ocorridas durante a instrução

- Onde você estudou a oitava série?
- Na oitava série: Você estudou Química? Você estudou modelos atômicos? Você construiu modelos nas aulas?
- Sobre o modelo que seu grupo construiu para explicar “por que a cola cola”, você achou fácil ou difícil elaborá-lo? Por quê?
- A elaboração do modelo para o NaCl, em comparação com o processo de elaboração do modelo para a cola, foi mais fácil ou mais difícil? Por quê?
- Para elaborar esses modelos, de que idéias o grupo partiu, isto é, o que você pensaram inicialmente? Houve algum conceito ou idéia que tenha ajudado a elaborar esses modelos?
- Como seu grupo trabalha para construir modelos? Há uma discussão prévia, ou você vão discutindo durante o processo?
- O que motivou a escolha do material (massa de modelar, bolinhas de isopor, palitos etc.) para a construção do modelo para o NaCl? Houve algum motivo específico para vocês terem escolhido esse material?
- Na atividade do funcionamento da cola, você enumerou algumas etapas, que o grupo seguiu, para construir o modelo. No caso do modelo para o NaCl, houve alguma etapa comum a essas? E houve alguma etapa na construção do modelo para o NaCl, que vocês não tenham utilizado no caso da cola?
- Você acha que construir os modelos ajudou a compreender melhor o que você está estudando? Por quê?
- E o fato de apresentar seu modelo para a turma, você acha que traz alguma contribuição especial? Por quê?
- Comparando o processo que você e seu grupo vivenciaram na sala, o que vê de diferente ou de semelhante com o trabalho dos cientistas?

Entrevistas ocorridas após a instrução

Antes de iniciar a entrevista, tornar claro para o aluno que o propósito da entrevista é esclarecer algumas de suas respostas ao questionário.

- Esclarecer respostas à questão em que se perguntava com qual dos grupos o aluno concordava, com relação a opiniões sobre o “sonho” de Kekulé.
- Na questão em que a estrutura do fulereno era comparada a uma bola de futebol, se o aluno escreveu que explicaria a comparação a seu colega verbalmente, perguntar se ele achava que o colega entenderia melhor se ele lhe mostrasse a bola de futebol, durante essa explicação.
- Esclarecer respostas à questão que comparava duas diferentes representações bidimensionais para o fulereno.
- Esclarecer respostas à questão que comparava duas diferentes representações bidimensionais para o DNA.
- Esclarecer respostas à questão em que se fazia referência à importância das representações no trabalho dos cientistas.
- Esclarecer representação para uma célula unitária e a justificativa.
- Perguntar se o aluno considerou útil, vantajoso, trabalhar com construção de modelos nas aulas. Solicitar justificativa.
- Perguntar sobre sua satisfação em ter vivenciado as aulas de modelagem, se ele gostou das atividades. Solicitar justificativa.

ANEXO 2. ATIVIDADE 1

- 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*?

ANEXO 3. ATIVIDADE 2

Considere a seguinte situação:

Foi desenvolvida uma nova cola para papel e madeira, mais poderosa que as colas normais e com secagem instantânea. Contudo, não se sabe qual o mecanismo de funcionamento desta cola, pois nem seus criadores propuseram um mecanismo para seu funcionamento. Portanto, precisamos responder a seguinte questão: “Por que esta cola cola?”.

- 1) Como a cola é um novo material, esta resposta não está disponível na literatura. Assim, seu papel é solucionar esta questão. Por isso, solicitamos que você **desenvolva um modelo (em nível microscópico) que explique como esta cola funciona**. Registre seu modelo no espaço abaixo (através de desenhos e/ou verbalmente).
- 2) Elaborar um modelo pode não ser uma tarefa simples. E, como em muitas situações, às vezes o processo de elaboração é muito mais importante e/ou rico do que o resultado final. Por isso, independente de qual foi o seu modelo, solicitamos que você descreva minuciosamente os seus passos para propor uma solução para tal problema. Para isso, utilizando o quadro abaixo, **descreva** o que você faria (etapa por etapa) e **apresente uma justificativa** para cada uma dessas etapas. A seguir, **numere** a primeira coluna, indicando a ordem em que agiria. Coloque quantas etapas quiser. Se necessário, acrescente linhas ao quadro.

Ordem	Etapa	Justificativa

ANEXO 4. 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 determinar 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:

1. Prenda um pedaço de fita de magnésio no clipe.
2. Prenda o clipe na pinça de madeira na região oposta à que se encontra o magnésio.
3. Acenda a vela e leve este sistema à chama.
4. Quando ocorrer alguma modificação no sistema retire-o da chama.
5. Anote suas observações na Tabela 1.
6. 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.
7. 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 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 outros elementos.

Questões:

1. Em que forma (mistura, substância simples, substância composta) são encontrados na natureza:
 - a) o ouro;
 - b) o ferro.
2.
 - a) Você acha que na Lua, ou em outro planeta, esses materiais seriam encontrados na mesma forma que aqui na Terra?
 - b) Que fatores influenciam a forma como um material é encontrado?

PARTE C

Material: “Garrafa Mágica”

Procedimento:

1. Segure a garrafa com uma das mãos, firmando a rolha ou tampa.
2. Agite-a vigorosamente por aproximadamente 20 segundos e observe o que acontece. Anote suas observações na tabela 2.
3. Deixe a “garrafa” em repouso e observe o que acontece. Anote suas observações na Tabela 2.

Tabela 2

Momento da observação	Observações
Inicial – Em repouso	
Durante a agitação	
Final – Em repouso	

Questões:

1. Você acha que neste sistema há mais de uma substância? Por quê?
2. Você acha que neste sistema ocorre uma reação química? Por quê?
3. Como você pode relacionar o fenômeno ocorrido na “garrafa mágica” com o fenômeno ocorrido na Parte A desta experiência? Quais são as semelhanças entre eles? Quais são as diferenças?
4. Com base no que foi discutido nesta experiência, como você relaciona a energia envolvida em um sistema com a formação de substâncias naquele sistema?

ANEXO 5. ATIVIDADE 4

A substância cloreto de sódio, o sal de cozinha, que utilizamos diariamente, é constituída por átomos de sódio (Na) e cloro (Cl). A questão que buscaremos explicar é como o cloreto de sódio é formado a partir das substâncias simples (Na(s) e Cl₂(g)) constituídas por esses átomos. Para isso, nessa atividade, vocês trabalharão na construção de um modelo para explicar a formação de íons.

- Energia de ionização (E.I.) é a energia necessária para retirar os elétrons de um átomo no estado gasoso. 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.
- Afinidade eletrônica (A.E.) é a energia liberada por um átomo no estado gasoso quando a ele é adicionado um elétron. Nesse caso, ocorre a formação de um íon em fase gasosa.
- Para se obter Na(g) a partir de Na(s) é necessário fornecer 108kJ de energia a cada mol de Na(s) (calor de sublimação).
- Para se obter Cl(g) a partir de Cl₂(g) é necessário fornecer 242kJ de energia a cada mol de Cl₂(g) (calor de atomização).
- Na tabela 1 são fornecidos os valores para a 1ª E.I. e A.E. dos 20 primeiros elementos químicos da tabela periódica.

Questões:

- 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) a) Qual é o íon de Na mais estável formado a partir da substância Na(s)? Por quê?
b) Qual o valor energético envolvido na formação de um mol desse íon?
- 3) a) Qual é o íon de Cl mais estável formado a partir da substância Cl₂(g)? Por quê?
b) Qual o valor energético envolvido na formação de um mol desse íon?

Tabela 1. 1ª E.I. e A.E. dos 20 primeiros elementos da tabela periódica.

<i>Número atômico (Z)</i>	<i>Símbolo do elemento</i>	<i>1ª energia de ionização (kJ/mol)</i> $X(g) \rightarrow X^+(g) + e$	<i>Afinidade eletrônica (kJ/mol)</i> $X(g) + e \rightarrow X^-(g)$
1	H	1311	72
2	He	2372	-54
3	Li	520,0	57
4	Be	899,1	-66
5	B	800,5	15
6	C	1086	121
7	N	1403	-31
8	O	1410	142
9	F	1681	333
10	Ne	2080	-99
11	Na	495,8	21
12	Mg	735,5	-67
13	Al	577,5	26
14	Si	786,3	135
15	P	1012	60
16	S	999,3	200
17	Cl	1255	348
18	Ar	1520	-70
19	K	418,7	12
20	Ca	589,6	-50

(Inorganic energetics, W.E. Dasent, 1970)

ANEXO 6. ATIVIDADE 5

Na atividade anterior vocês propuseram um modelo para a formação de íons. A próxima questão a ser explicada é relativa à maneira que esses íons interagem levando a formação do cloreto de sódio. Nessa atividade, vocês deverão propor um modelo que explique a interação entre os íons que vocês propuseram 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.
 - b) Faça um desenho do modelo construído por seu grupo. Caso julgue necessário, explique por escrito algum detalhe do seu desenho.
 - b) Justifique a escolha do material utilizado (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).
 - c) Descreva, da maneira mais detalhada possível, todos os passos que você seguiu desde a leitura do item (a) até a conclusão da elaboração de seu modelo.
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?

ANEXO 7. 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, ele deverá ser modificado.

1. A temperatura de fusão do cloreto de sódio é muito elevada ($TF = 808\text{ }^{\circ}\text{C}$). Por isso não conseguimos fundir sal de cozinha na chama de um fogão a 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 essa propriedade, reformule-o.
 - a) Faça um desenho do novo modelo construído por seu grupo. Caso julgue necessário, explique por escrito algum detalhe do seu desenho.
 - b) Compare seus dois modelos e identifique quais aspectos foram modificados. Explique também porque eles foram modificados dessa maneira. (Caso necessário, adicione outras linhas ao quadro abaixo.)

Modificação	Justificativa da modificação

ANEXO 8. ATIVIDADE 7

Discutimos inicialmente que para que uma substância exista é necessário que ela seja mais estável do 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 partículas de cloreto de sódio a partir de um íon Na^+ e um íon Cl^- libera uma quantidade de energia igual a 104,5 Kcal por mol 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 206 kcal/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.
 - a) Faça um desenho do modelo construído por seu grupo. Caso julgue necessário, explique por escrito algum detalhe do seu desenho.
 - b) Justifique a escolha do material utilizado (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).
 - c) Descreva, da maneira mais detalhada possível, todos os passos que você seguiu desde a leitura do item (a) até a conclusão da elaboração de seu modelo.
2. 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.

ANEXO 9. ATIVIDADE 8

1. Na Atividade 6, tínhamos um problema para ser explicado – a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio (TF = 808 °C). O modelo que tínhamos até o momento não explicava satisfatoriamente bem esse fato, por isso ele foi reformulado na Atividade 7.
 - a) O modelo que você construiu na Atividade 7 consegue explicar esta propriedade do cloreto de sódio?
 - b) Em caso afirmativo, explique como.
 - c) Em caso negativo, proponha as modificações necessárias e registre, no espaço abaixo, o novo modelo.

2. Um grande número de minerais (calcita, rutilo, mica, berilo etc.) são constituídos por ligações semelhantes às presentes na substância cloreto de sódio. Através do uso de seu novo modelo para o cloreto de sódio explique certas características dos minerais:
 - a) Têm dureza significativa.
 - b) São quebradiços.
 - c) Apresentam plano de clivagem.

3. Na atividade 4 você calcularam o gasto energético na formação de íons sódio e cloreto a partir das substâncias simples Na(s) e Cl₂(g). Através das atividades de modelagem foi possível concluir que esses íons interagem levando a formação de uma rede. O próximo passo a seguir será calcular a energia dessa rede para o cloreto de sódio. Para isso complete a tabela:

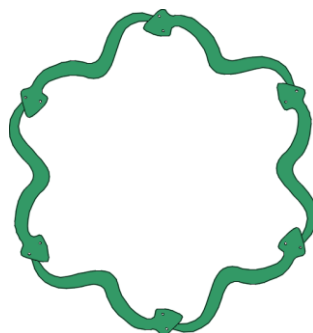
Etapa	Processo	Variação energética (kJ/mol)
I- Sublimação	$\text{Na(s)} \rightarrow \text{Na(g)}$	
II – Energia de ionização	$\text{Na(g)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + \text{e}^-$	
III - Atomização	$\frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}(\text{g})$	
IV – Afinidade eletrônica	$\text{Cl}(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$	
V – Energia de rede	$\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$	x
Processo global	$\text{Na(s)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$	- 411

Com base nos seus cálculos e nos dados da tabela, calcule x (energia de rede para 1 mol de NaCl). Interprete o significado físico desse cálculo.

ANEXO 10. QUESTIONÁRIO PÓS-INSTRUÇÃO

1. Em meados do século XIX, um dos problemas que instigava vários cientistas era a estrutura do benzeno (substância de fórmula C_6H_6). O texto abaixo foi extraído de um discurso feito por Kekulé em 1890, 25 anos após ter proposto uma estrutura para o benzeno, que é utilizada até hoje.

“Estava sentado escrevendo meu livro didático, mas o trabalho não progredia; meus pensamentos estavam em outro lugar. Virei minha cadeira para o fogo e cochilei. Novamente os átomos estavam saltando diante dos meus olhos. Nessa hora, os grupos menores mantinham-se modestamente no fundo. Meu olho mental, que se tornara mais aguçado pelas visões repetidas do mesmo tipo, podia agora distinguir estruturas maiores de conformações múltiplas: fileiras longas, às vezes mais apertadas, todas juntas, emparelhadas e entrelaçadas em movimento como o de uma cobra. Mas veja! O que era aquilo? Uma das cobras havia agarrado sua própria cauda, e essa forma girava zombeteiramente diante dos meus olhos. Acordei como se por um raio de luz; e então, também passei o resto da noite desenvolvendo as conseqüências da hipótese.”



Segundo o texto, quando Kekulé acordou, conseguiu propor uma estrutura cíclica para a molécula de benzeno (como representada na figura 1). Isto foi algo inédito, pois todas as estruturas propostas para outras substâncias até então eram lineares.

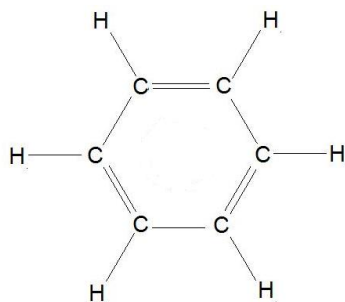


Figura 1

Algumas pessoas afirmam que a proposição da estrutura do benzeno ocorreu “por sorte” a partir do sonho descrito no texto. Outras pensam que isso ocorreu como fruto de uma elaboração mental. Com qual dos grupos você concorda? Por quê?

2. Leia o texto a seguir:

Os **fulerenos** são a terceira forma mais estável do carbono, após o diamante e o grafite. Foram descobertos em 1985, tornando-se populares entre os químicos, tanto pela sua beleza estrutural quanto pela sua versatilidade para a síntese de novos compostos químicos. Foram chamados de "buckminsterfullerene" em homenagem ao arquiteto R. Buckminster Fuller, que inventou a estrutura do domo geodésico (estrutura inspirada numa bola de futebol), devido à semelhança entre as duas estruturas. O fulereno mais comum tem fórmula C_{60} .

Como no caso do fulereno, os cientistas costumam utilizar modelos para representar suas idéias.

- Como você explicaria para um colega a comparação da estrutura proposta para o fulereno com a de uma bola de futebol?
- Compare as duas ilustrações a seguir. Ambas representam o fulereno C_{60} .

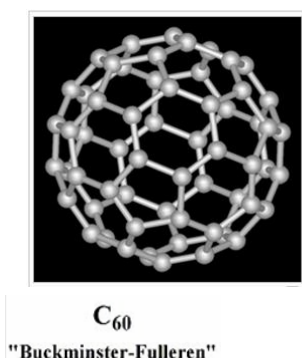


Figura 2

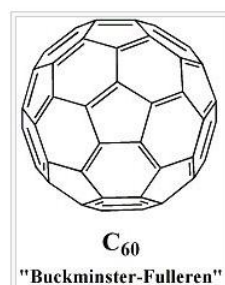


Figura 3

Identifique pelo menos uma vantagem e uma desvantagem de se utilizar cada uma das representações apresentadas nas figuras 2 e 3.

Figura	Vantagem	Desvantagem
2		
3		

3. Cientistas costumam utilizar modelos para representar suas idéias. Abaixo são apresentados dois modelos usados por cientistas.

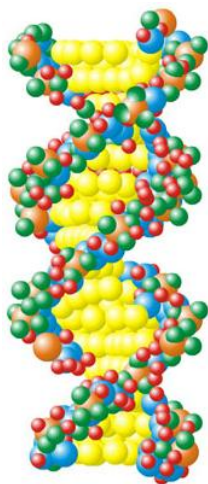


Figura 4



Figura 5

- a. Você já viu alguma dessas figuras antes?
() Sim. Em que situação?
() Não.
- b. Você sabe qual(is) molécula(s) estas estruturas representam?
() Sim. () Não.
Em caso afirmativo, identifique-as.
Figura 4:
Figura 5:
- c. Cite os símbolos (ou códigos de representação) que você consegue identificar nas figuras, e seus respectivos significados.
Figura 4:
Figura 5:
4. Considere as figuras 1 a 5.
- a. Você acha que representações como as dessas figuras são importantes na elaboração das idéias dos cientistas? Como?
- b. Você acha que representações como as dessas figuras são importantes na comunicação das idéias dos cientistas? Como?

5. As partículas dos sólidos podem se dispor em diferentes arranjos (estruturas cúbico de corpo centrado ou de face centrada, hexagonal compacta, entre outras). Uma *célula unitária* é definida como a menor unidade de um cristal que possui toda a sua simetria. Isso significa que o cristal inteiro pode ser gerado pela repetição de sua célula unitária.
- A partir desta definição, de que maneira você representaria uma célula unitária? Justifique sua resposta.
 - Como os modelos construídos nas atividades utilizadas no ensino de ligações químicas contribuíram para que você seja capaz de imaginar como é a estrutura de uma célula unitária?
() não contribuíram () contribuíram um pouco () contribuíram muito
 - Justifique sua resposta da questão anterior.