

Poliana Flávia Maia

**HABILIDADES INVESTIGATIVAS  
NO ENSINO FUNDAMENTADO  
EM MODELAGEM**

**BELO HORIZONTE**

2009

Poliana Flávia Maia

# **HABILIDADES INVESTIGATIVAS NO ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM**

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

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Rosária Justi

Belo Horizonte  
Faculdade de Educação da UFMG

2009

*Àquela por quem tenho grande  
admiração e imensa gratidão:  
Rosária Justi.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu sinta sua presença em todos os momentos da minha vida.

À minha querida amiga e orientadora, Rosária Justi, pelos quase dez anos de uma convivência muito frutífera e prazerosa. Agradeço por todo o apoio, compreensão e dedicação, decisivos para a minha vida, tanto no âmbito pessoal quanto profissional.

Aos meus pais, pelo amor, pelo apoio e por acreditarem em minha competência.

A todos os meus queridos amigos e familiares, por acreditarem em meu potencial, muitas vezes mais do que eu mesma. Agradeço à minha tia Laninha e ao meu primo Vinícius, pelo especial apoio nos momentos mais difíceis. À minha amiga Maíra, por ter ficado ao meu lado mesmo em tempos de escassos sorrisos. Ao Lucas, pela compreensão e pela força nesta reta final.

Aos meus queridos amigos do Núcleo de Pesquisa em Educação em Ciências, pela agradável convivência e por todo o apoio e conhecimento compartilhado. Um agradecimento especial à Paula Cristina, por ter contribuído decisivamente com esta pesquisa com tanta dedicação.

À Daniele, pelo trabalho desenvolvido como auxiliar de pesquisa.

Aos alunos do COLTEC, por terem aceitado participar desta pesquisa.

Aos professores Maria Eunice e Tarciso, pelas preciosas contribuições no exame de qualificação e pela leitura deste trabalho.

Aos professores Gilmar e Oto, por gentilmente aceitarem ler esta tese e participarem da banca examinadora.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A promoção de um ensino pautado no desenvolvimento de habilidades mais gerais associadas ao pensamento científico, enfatizando o processo de construção desse conhecimento acima – mas não independente – do conhecimento de conteúdos específicos, tem assumido lugar de destaque no palco das discussões sobre o ensino de Ciências nas últimas décadas. Nessa perspectiva, atividades de ensino envolvendo modelagem apresentam grande potencial para favorecer o desenvolvimento desses conhecimentos, uma vez que esta consiste em um dos principais processos de construção da própria Ciência. As atividades de modelagem, conforme abordadas no presente trabalho, são atividades investigativas que exigem a construção ativa do conhecimento por meio da elaboração de respostas – que neste caso consistem em modelos – para determinados problemas. Ao participar das mesmas, os estudantes têm a oportunidade de desenvolver seus conhecimentos de conteúdo à medida que desenvolvem habilidades cognitivas, procedimentais e metacognitivas associadas ao pensamento científico. Todavia, há grande carência de estudos que identificam quais habilidades são empregadas pelos estudantes nesse processo, em que momentos do processo elas são necessárias e como os estudantes aprendem sobre o próprio processo de modelagem ao longo dessas atividades. O presente trabalho se propôs a identificar quais habilidades são empregadas e desenvolvidas por estudantes do ensino médio ao longo de atividades de modelagem em química e como tais atividades contribuem para o conhecimento desses estudantes sobre a própria modelagem e seu papel na Ciência. Para isso, foram analisados os dados de uma turma de 26 estudantes do ensino médio (15-17 anos) coletados durante a utilização de três estratégias de ensino baseadas em atividades de modelagem. Os dados foram coletados por meio de registro em vídeo, atividades escritas, notas de campo e entrevistas individuais com uma amostra da turma. Neste trabalho foi construído um instrumento de análise específico, com categorias correspondentes à avaliação de como cada habilidade poderia ser manifestada. A análise do processo vivido pelos estudantes permitiu identificar as principais habilidades empregadas por eles ao longo dos processos de modelagem, bem como a recorrência dessas, associadas às etapas do processo de construção. Em relação à aprendizagem sobre modelagem, foram identificados elementos que os estudantes empregaram durante todo o processo, bem como a percepção deles sobre tais elementos. Os resultados desse trabalho permitiram concluir que a participação nas atividades de modelagem contribuiu para o desenvolvimento de determinadas habilidades científicas, assim como para a visão da natureza da Ciência dos estudantes.

## ABSTRACT

Discussions about science teaching during the last decades emphasised the need of favouring teaching situations aimed at the development of general skills related to scientific reasoning. This would highlight the knowledge building process together with the acquisition of specific content knowledge. From such a perspective, modelling-based teaching can highly favoured such knowledge development, because modelling is one of the main science building processes. Modelling activities, as assumed in this study, are investigative activities that require an active knowledge building from the generation of answers – in this case, models – for some problems. In so doing, students have the opportunity to develop their content knowledge whilst they develop cognitive, procedural, and metacognitive skills related to scientific thinking. However, there is a lack of studies that investigate which skills are used by students in this learning process; when, during the learning process, such skills are needed; and how students learn about the modelling process itself during the activities. In this study, we investigated (i) which skills are used and developed by medium level students when participating in chemistry modelling-based teaching activities, and (ii) how such activities contribute to students' knowledge about modelling and its role in science. We analysed data from a 26 student (15-17 years) class collected from three modelling-based teaching strategies. Data were collected from class video-recording, students' written activities, filed notes, and individual interviews conducted with a sample of students. We produced a specific analysis instrument composed of categories that allowed us to assess how each skill could be demonstrate itself. The analysis of the process experienced by the students made it possible to identify the main skills students used during the modelling-based teaching activities, the using frequency of such skills, and the relationships between the skills and the modelling stages. Concerning with learning about modelling, we identified the modelling elements that students performed during the whole process, and their own knowledge about such elements. From our results, we concluded that participating in modelling-based teaching activities has contributed to students' use and development of some scientific investigative skills and to the development of their view about the nature of science.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	1
Contextualização do estudo .....	1
Organização da tese .....	3
MODELAGEM E O DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES .....	5
Aprendizagem de processos em detrimento à de fatos: por uma adequada visão de Ciências.....	5
Habilidades no Ensino de Ciências .....	9
Atividades investigativas no ensino de Ciências .....	14
Processos de investigação e modelagem .....	22
Habilidades metacognitivas e modelagem.....	28
A avaliação de habilidades em modelagem .....	35
OBJETIVOS E METODOLOGIA DA PESQUISA .....	44
Objetivos.....	44
Metodologia de coleta de dados.....	45
A amostra e o contexto da pesquisa .....	45
Dados coletados.....	46
Metodologia de análise de dados .....	53
Primeira questão de pesquisa .....	53
Segunda questão de pesquisa .....	58
RESULTADOS I – A FERRAMENTA DE ANÁLISE .....	62
Identificação das habilidades envolvidas em processos de modelagem .....	62
Habilidades envolvidas no processo de modelagem: detalhes das habilidades e parâmetros de análise .....	63
RESULTADOS II – ANÁLISE DA PRIMEIRA QUESTÃO DE PESQUISA .....	81
Análise dos Processos de Modelagem vividos pelo Grupo 1 .....	81
Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino “Por que a cola cola?” .....	81
Análise do processo vivido pelo grupo 1 durante a realização da estratégia de ensino “Por que a cola cola?” .....	90
Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino de Ligação Iônica.....	93

Análise do processo vivenciado pelo grupo 1 durante a elaboração do modelo para ligação iônica .....	107
Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino de Interações Intermoleculares .....	112
Análise do processo vivido pelo grupo 1 durante a elaboração do modelo para Interações Intermoleculares.....	121
Análise dos processos de modelagem vividos pelo grupo 1 .....	124
Análise dos Processos de Modelagem vivido pelo Grupo 2.....	127
Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino “Por que a cola cola?” .....	127
Análise do processo vivido pelo grupo 2 durante a aplicação da estratégia de ensino “Por que a cola cola?” .....	133
Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino de Ligação Iônica.....	136
Análise do processo vivenciado pelo grupo 2 durante a elaboração do modelo para Ligação Iônica.....	148
Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino de Interações Intermoleculares .....	152
Análise do processo vivido pelo grupo 2 durante a elaboração do modelo para Interações Intermoleculares.....	160
Análise dos três processos de modelagem vividos pelo grupo 2 .....	163
RESULTADOS III – ANÁLISE DA Segunda QUESTÃO DE PESQUISA .....	165
Entrevista I.....	165
Entrevista 2.....	171
Entrevista 3.....	176
Algumas considerações sobre o conjunto de dados das entrevistas.....	180
CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES.....	182
Sobre a ferramenta de análise .....	182
Sobre as habilidades investigativas no processo de modelagem .....	184
Sobre a metacognição em modelagem.....	191
Considerações finais .....	194
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	196
ANEXOS .....	201

Anexo 1: Competências apresentadas pela matriz do ENEM 2009 para a área de Ciências Naturais (Brasil, 2009, p. 08) .....	201
Anexo 2: Termo de consentimento livre e esclarecido direcionado à direção da escola .	204
Anexo 3: Termo de consentimento livre direcionado à professora.....	206
Anexo 4: Termo de consentimento livre direcionado aos alunos.....	208
Anexo 5: Termo de consentimento livre direcionado aos responsáveis pelos alunos .....	210
Anexo 6: Atividades da estratégia de ensino “Por que a cola cola?” .....	212
Anexo 7: Atividades da estratégia de ensino “Modelo para a ligação iônica” .....	214
Anexo 8: Atividades da estratégia de ensino “Modelo para interações intermoleculares” .....	223
Anexo 9: Questão 5 da 1ª Avaliação Parcial.....	228
Anexo 10: Questão 7 da Avaliação Final .....	229
Anexo 11: Questões que estruturaram as entrevistas .....	230

## INTRODUÇÃO

### Contextualização do estudo

*“A importância sempre crescente de assuntos científicos em nosso dia-a-dia demanda uma população que tenha conhecimentos e entendimentos suficientes para acompanhar a ciência e os debates científicos.”*

(Millar & Osborne, 1998, p. 01)

A atual demanda por um conhecimento de Ciências integrado à realidade e às ações cotidianas dos indivíduos tem direcionado as diversas propostas de mudanças realizadas no ensino desta área de conhecimento. O ensino de Ciências, como tem sido defendido por diversos documentos da educação (AAAS, 1989; Brasil, 1999; Millar & Osborne, 1998) deve corresponder às demandas do mundo atual, ultrapassando os limites de um conhecimento meramente declarativo e desenvolvendo um conhecimento aplicável e contextualizado.

Assim, o conhecimento em Ciências deve estar além da memorização de fatos, equações e procedimentos. Este conhecimento deve ser desenvolvido como um meio de ajudar o indivíduo a compreender melhor o mundo à sua volta, favorecendo a busca e a interpretação de informações diversas, além de uma atuação crítica em seu meio.

Nesta perspectiva, o ensino que se deseja promover em Ciências deve contemplar o “saber como” mais do que o “saber o quê”. Isto porque a capacidade de integrar e aplicar conhecimentos em situações-problema envolve a própria capacidade de busca de informações, uma compreensão mais ampla dos processos e, acima de tudo, o discernimento para saber como e quando aplicar tais conhecimentos. Para tanto, o estudante deve ser sujeito ativo de seu processo de aprendizagem, desenvolvendo, além do conhecimento de conteúdos, diversas habilidades, incluindo aquelas associadas à auto-regulação dos processos por ele vivenciados – isto é, refletir e agir sobre a condução dos processos durante a execução dos mesmos.

Um ensino de Ciências que contribua para o desenvolvimento dessas capacidades do sujeito deve enfatizar os caminhos e processos da Ciência, contemplando não apenas seus resultados mas, antes de tudo, seus meios. A Ciência como um fazer humano e o pensar e o agir cientificamente devem fazer sentido para o indivíduo e auxiliá-lo em suas próprias ações. Para isso, os conhecimentos sobre a natureza da Ciência, suas ferramentas e seus processos devem se integrar ao ensino de maneira significativa.

Muitos estudos na área de ensino de Ciências (por exemplo, Barab, Hay, Barnett & Keating, 2000; Clement, 2008; Maia & Justi, 2009) têm descrito a condução de atividades que

promovem um ensino conforme apresentado anteriormente, com especial destaque às atividades que envolvem o processo de investigação científica.

O processo de investigação na Ciência merece especial atenção em sua abordagem no ensino por se tratar do próprio processo de construção da Ciência. O conhecimento sobre o desenho, condução e interpretação de processos de investigação para responder questões, acompanhado do processo de comunicação desses processos e seus resultados, contribui significativamente para a compreensão sobre o “fazer Ciência”, uma vez que torna possível entender como ela é realmente construída e usada.

Os estudos conduzidos sobre o ensino de investigação científica apontam a necessidade de inserção do aluno em atividades que promovam o desenvolvimento desse conhecimento de maneira ativa, isto é, através de atividades em que o aluno é um sujeito que conduz uma investigação. Isto permite não só o desenvolvimento do conhecimento sobre como a Ciência é construída, mas também proporciona o desenvolvimento de habilidades durante a condução do processo (Zohar, & Nemet, 2002; Zohar, 2004). Identificar princípios da Ciência, usá-los no processo de investigação e até mesmo empregar recursos tecnológicos são práticas científicas essenciais para o desenvolvimento desse processo.

O uso de *atividades de modelagem*<sup>1</sup> tem sido recentemente defendido por diversos estudos (por exemplo, Clement, 2000; Nersessian, 1999; Justi & Gilbert, 2002) por seu potencial no desenvolvimento de um ensino de acordo com as perspectivas aqui discutidas. Isto porque os modelos estão na base das pesquisas científicas e, ao mesmo tempo, são os principais produtos da Ciência (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000). Contudo, conhecer os modelos implica em conhecer apenas os produtos da Ciência, enquanto conhecer o processo de modelagem significa conhecer as bases sobre as quais o conhecimento em Ciências se estrutura e se desenvolve. Isto implica na potencialidade de as atividades de modelagem aproximarem os estudantes do processo de construção da própria Ciência, promovendo tanto a compreensão sobre a Ciência como um construto humano, seus princípios e ferramentas, quanto o desenvolvimento de um raciocínio mais adequado sobre as evidências científicas e uma melhor integração de seus conhecimentos prévios, favorecendo o desenvolvimento de habilidades que são requeridas neste processo (Wu & Hsieh, 2006).

Diversos estudos têm evidenciado que atividades de modelagem podem contribuir para que os estudantes desenvolvam conhecimentos de conteúdos (por exemplo, Besson &

---

<sup>1</sup> Atividades de modelagem configuram atividades de caráter investigativo, em que os estudantes elaboram modelos como forma de desenvolver a compreensão sobre determinado sistema em estudo, o qual pode ser concreto ou abstrato. O processo de modelagem será posteriormente descrito neste trabalho.

Viennot, 2004; Souza, 2007; Maia & Justi, 2009; Mendonça & Justi, 2009b). Contudo, poucos são aqueles que apresentam uma análise de como tais atividades colaboram para o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes sobre a construção da Ciência e sobre como elas contribuem para o desenvolvimento de habilidades – cognitivas ou metacognitivas – pelos estudantes.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar em que extensão a inserção de estudantes em atividades de modelagem contribui para o uso e/ou desenvolvimento de habilidades, em especial aquelas associadas aos processos investigativos. Desta forma, pretende-se promover um maior conhecimento sobre as contribuições das atividades de modelagem para o pensamento dos estudantes, com vistas à orientação do uso dessas atividades de ensino para além da aprendizagem de conteúdos, contemplando os processos envolvidos na Ciência.

### **Organização da tese**

Esta tese foi organizada em sete capítulos, que estão dispostos segundo a ordem em que são descritos neste momento. Este primeiro capítulo, que compõe a introdução, apresenta uma visão inicial dos estudos que subsidiaram o presente trabalho e seus objetivos gerais. Assim, são apresentadas idéias sobre a relevância de um ensino pautado no desenvolvimento de habilidades, para o qual propostas baseadas em atividades investigativas que envolvam modelagem aparecem com potencial promissor.

O capítulo 2 apresenta uma articulação entre estudos que forneceram idéias e diretrizes para a condução deste trabalho. Este capítulo se inicia com a discussão da importância do rompimento com um ensino baseado na memorização de conteúdos e na necessidade do desenvolvimento de conhecimentos transferíveis e aplicáveis em diferentes contextos para a formação de cidadãos. Nesse sentido, é discutido o desenvolvimento de habilidades no ensino, de uma forma geral, ao que se segue uma discussão sobre o desenvolvimento das habilidades que se pretende desenvolver no contexto específico do ensino de Ciências. Nesse momento são apresentadas discussões sobre o significado de termos como competências e habilidades, bem como a definição assumida no presente trabalho para habilidades, em despeito a outras definições existentes. Posteriormente, considerando a potencial contribuição de atividades investigativas no ensino de Ciências para o desenvolvimento de habilidades, são discutidos diversos aspectos relativos ao desenvolvimento dessas, com especial ênfase às atividades de modelagem, apresentando a

relação das mesmas com o desenvolvimento do conhecimento científico, o resultado de alguns estudos que analisam a condução dessas atividades e, ainda, como essas podem contribuir para o desenvolvimento de determinadas habilidades. O processo de modelagem é apresentado em termos das etapas e ações nele envolvidas, sempre salientando sua relevância na promoção de uma adequada visão de Ciências. A potencialidade das atividades de modelagem em relação ao desenvolvimento de habilidades cognitivas e metacognitivas é discutida, uma vez que é propósito deste trabalho avaliar o desenvolvimento dessas habilidades. Para isso são apresentados aspectos relativos às atuais dificuldades encontradas na avaliação de habilidades no ensino, bem como indicativos de como isso pode ser realizado.

O capítulo 3 apresenta os objetivos e a metodologia empregada no trabalho. Os objetivos foram sistematizados, indicando quais questões de pesquisa ele buscou responder. As metodologias de coleta e análise de dados foram descritas, indicando a relevância de cada instrumento empregado, seus propósitos e as medidas tomadas no sentido de aumentar a confiabilidade da coleta e análise de dados.

Os resultados são apresentados em três capítulos. O primeiro deles, capítulo 4, apresenta o desenvolvimento da ferramenta de análise, que consiste no primeiro produto desse trabalho. Neste capítulo são evidenciadas e explicadas as categorias e subcategorias de análise e, ainda, é discutido o uso dessa ferramenta para a realização da análise.

O capítulo 5 apresenta a análise dos dados e a discussão dos resultados relativos à primeira questão de pesquisa. Os dados do processo são apresentados em quadros que permitem ao leitor acompanhar o desenvolvimento das atividades de modelagem em sala de aula, bem como a análise que foi realizada em cada etapa. Após cada quadro é apresentada uma análise descritiva dos processos de modelagem, ao que se segue uma análise geral de todos os processos para cada grupo.

No capítulo 6, são apresentados resultados relativos à análise do metaconhecimento dos estudantes, objeto da segunda questão de pesquisa desse trabalho.

No capítulo 7, apresentamos conclusões relativas às duas questões de pesquisas, apresentando relacionamentos entre os resultados desta pesquisa e alguns dos aspectos teóricos discutidos anteriormente. Além disso, algumas possíveis implicações deste trabalho são apontadas, com o propósito de subsidiar tanto futuras pesquisas na área quanto ações efetivas para o ensino de Ciências.

## MODELAGEM E O DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES

### Aprendizagem de processos em detrimento de fatos: por uma adequada visão de Ciências

*“A Ciência é uma das contribuições mais importantes da grande aventura intelectual das sociedades humanas ao longo da história; nela se concretiza a curiosidade e as incansáveis tentativas de mudar o mundo em que vivemos.”*

(Chamizo & Izquierdo, 2007, p. 18)

A relevância do conhecimento científico para os indivíduos e para que estes tomem decisões configura o pano de fundo de grande parte das pesquisas em ensino de Ciências na atualidade. Wellington (2001) defende que indivíduos participantes em uma democracia tomem decisões e façam escolhas de forma consciente o que, em muitos momentos, exige uma adequada compreensão de conhecimentos científicos e da Ciência. O desenvolvimento do conhecimento em Ciências se coloca como forma de o indivíduo compreender melhor o homem e suas relações com a natureza, percebendo a Ciência como uma forma de pensar, reconhecendo as atitudes, habilidades e conhecimentos inerentes a este construto humano.

Hodson (2003) discute aspectos que devem ser considerados na composição dos currículos de Ciências, chamando atenção para dois deles: as necessidades, anseios e aspirações dos jovens estudantes em relação ao ensino de ciências e a necessidade de uma orientação sócio-política dos currículos na formação de cidadãos letrados política e cientificamente. Para isso, Hodson apresenta uma breve revisão de diversos documentos oficiais de todo mundo – por exemplo, Science for All Americans (AAAS, 1989), relatórios do Programme for International Student Achievement (OECD, 2004), Beyond 2000: Science Education for the Future (Millar & Osborne, 1998) –, entre outros textos, que têm apresentado as atuais perspectivas para o ensino de Ciências. Partindo dos *slogans* que são usados para sintetizar muitas das idéias desses documentos – como: “aprender fazendo”, “processo, não produto”, “ciência para todos”, “menos é mais” – Hodson apresenta como a idéia de alfabetização científica tem sido amplamente defendida por diversos documentos. Entretanto, ele explicita que não há clareza sobre o significado disso e sobre o que isso implica em termos da proposição de um currículo. Contudo, é possível identificar convergências nesses documentos à medida que eles apontam a necessidade da promoção de um ensino que vá além de um conhecimento pautado somente em conteúdos científicos e que valorize o

processo de construção do conhecimento científico e as habilidades de pensamento a ele associadas.

Concebendo o ensino de Ciências como fundamentado no desenvolvimento de uma forma de pensar e, ainda, pensar para a vida, devemos considerar, conforme apontado por McGregor (2007), que isto implica em desenvolver pensadores independentes. Esta autora ressalta que é ingênua uma conceituação de aprendizagem que foca o conteúdo acima do processo, a compreensão acima da competência, e a transmissão de conhecimentos acima do processo de descoberta e construção individual. Como a aprendizagem é uma consequência do uso e do desenvolvimento do pensamento, os estudantes devem ser inseridos em processos que valorizem o *'saber como'* acima do *'saber o quê'*. Assim, o ensino deve estar pautado em uma aprendizagem centrada no pensamento, em que a retenção de conhecimentos e o uso ativo desses, ao lado do desenvolvimento da compreensão, são consequências de uma experiência de aprendizagem em que o estudante *'pensa sobre'* e *'pensa com'* o que ele está aprendendo (McGregor, 2007), isto é, em que ele faça uso do seu aprendizado como ferramenta para a aquisição de novos conhecimentos.

Essa aprendizagem, promovida a partir do exercício do pensamento pelo estudante, ocorre por meio da reflexão durante o processo e, conseqüentemente, da consideração de como os processos e conteúdos são usados e aplicados em diversos contextos, seja em problemas escolares ou em sua vida. Por isso, um ensino de Ciências que considere esses aspectos tende a contribuir mais para uma aprendizagem relevante para a vida do que a aquisição de conhecimentos – normalmente transmitidos pelo professor – em que o estudante tem que aplicar o conhecimento absorvido para responder a questões que estejam dentro do mesmo domínio em que o conhecimento foi transmitido.

Segundo Kuhn (1989), o pensamento científico é desenvolvido por processos associativos, em que os cientistas conciliam e integram idéias às evidências estudadas, gerando novas idéias e desenvolvendo suas competências na produção do conhecimento científico. Considerando um cientista desenvolvendo suas ações de pensamento, ele é uma pessoa que: (i) é capaz de articular conscientemente a teoria por ele aceita, (ii) reconhece quais evidências podem ou não suportar uma teoria e quais evidências podem ou não contradizê-la e, ainda, (iii) é capaz de justificar a escolha das teorias e coordenar seus campos de aplicação (Kuhn, 1989). Esses aspectos são definidos por Kuhn como centrais e essenciais para o pensamento científico. Assim, ao promovermos um ensino de Ciências centrado nos

processos e no pensar sobre os processos, podemos contribuir para aproximar o pensamento dos estudantes do pensamento científico.

O que se deseja, portanto, que os estudantes aprendam sobre Ciências, acima e além de conteúdos específicos, são atividades gerais do pensamento, ou os *'processos da Ciência'* (Millar & Driver, 1987). Tais processos se referem ao pensar e agir científicos relacionados ao aspecto sistemático de construção de conhecimento em Ciências na busca de compreensões mais satisfatórias. Essa perspectiva de ensino centrada na compreensão dos processos se relaciona, conseqüentemente, ao desenvolvimento de habilidades a eles associadas. Isto, conforme destacado por Brook *et al.* (1989), se justifica pela crença de que, apesar do conhecimento científico ser provisório, as habilidades e os processos da Ciência não são.

Uma justificativa para a ênfase no ensino de processos é uma reação contra um modelo de ensino de Ciências baseado na transmissão (Millar, 1989). O que tem sido defendido nas atuais perspectivas para o ensino de Ciências é uma aprendizagem mais ampla, que contemple *o todo* à medida que seu domínio não se restrinja a problemas previamente concebidos em contextos com poucas variáveis, como ocorre no ambiente escolar.

Por outro lado, Millar (1989) critica uma concepção inadequada que existe sobre um ensino baseado nos processos da Ciência. Este autor afirma que é problemática a visão de que podemos ensinar esses processos em atividades que sejam independentes do conteúdo, e que depois os estudantes apresentarão melhor performance nesses processos independentemente do contexto no qual eles foram ensinados. Millar destaca a necessidade de se delimitar as habilidades que podem ser ensinadas e desenvolvidas – e, ainda, avaliadas – e processos mais gerais que não podem. Além disso, é necessário diferenciar processos mais gerais, como observar, levantar hipóteses e comunicar idéias; dos processos da Ciência, como fazer observação científica, levantar hipóteses científicas e comunicar idéias científicas. Isto é, deve-se reconhecer o ensino de processos da Ciência como dependente das bases de conteúdos e conceitos da Ciência.

Assim, tem sido amplamente defendida a operação com processos da Ciência, que envolvam: observar, classificar, descrever, comunicar, elaborar conclusões, formular hipóteses, controlar variáveis, interpretar dados, conduzir experimentos, entre outros, todos relacionados ao conhecimento científico (Millar & Driver, 1987; Millar 1989; McGregor, 2007), de forma que tais operações contribuam para a compreensão de conceitos e princípios da Ciência. Não se nega, contudo, que o desenvolvimento do conhecimento desses processos possa contribuir para o desenvolvimento de habilidades que podem ser aplicadas a novos

problemas e novas áreas, dentro da Ciência ou além dela (Zohar & Nemet, 2002; Zohar, 2004). Pelo contrário, deve-se ter em mente que ensinar processos se relaciona fundamentalmente à noção de possibilidade de transferência de habilidades, sendo esta transferência definida como o uso de uma habilidade ‘adquirida’ em uma situação para a resolução de uma nova questão (Pennington, Nicolich, & Rahm, 1995). Segundo Schunn & Anderson (1999), isto ocorre porque o indivíduo, quando encontra uma situação nova, se beneficia da experiência prévia por meio de associações partilhadas entre a velha e a nova situação.

Mesmo reconhecendo que a aprendizagem de processos da Ciência envolve habilidades de domínio específico, isto não significa que o ensino desses processos pretende colocar o estudante no mesmo lugar que o cientista está. Conforme discutido por Kuhn (1989), é necessário reconhecer as diferenças entre os processos conduzidos por cientistas e aqueles desenvolvidos por estudantes, seja em relação aos conhecimentos prévios, ao nível de especialidade, ou mesmo aos objetivos de cada um. Apesar dessas diferenças, a inserção dos estudantes em atividades que promovam as diversas atividades do pensamento citadas apresenta um caráter analógico aos processos desenvolvidos na Ciência e, ainda, pode levar ao desenvolvimento de habilidades associadas a essa forma do pensamento.

Atividades que promovam a participação ativa dos estudantes no desenvolvimento de ações do pensamento relacionadas aos processos científicos contribuem para a compreensão sobre a natureza da Ciência (Kuhn, 1989; Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Sandoval, 2005). Essa compreensão é especialmente importante para desmistificar o processo de construção da Ciência, levando o estudante a compreendê-la como uma construção humana, sujeita a falhas, limitações e interferências de diversos contextos (Lederman, 2007; McComas, Almazroa, & Clough, 1998), sendo os seus produtos advindos da integração, teste e proposição de modelos e idéias, que concorrem na capacidade de explicar e prever aspectos do mundo em que se insere o indivíduo. Uma compreensão adequada de Ciência tende a levar o estudante a percebê-la como *uma* forma de o ser humano compreender o seu meio, observar, analisar e agir sobre ele – o que não configura ‘a verdade’, mas uma forma de pensamento aceita e legitimada por especialistas. Essa idéia sobre Ciências tende, ainda, a romper com a inadequada visão de que esta se constrói por meio de um método único, formado por uma seqüência linear de passos pré-estabelecidos (Millar, 1989).

Defende-se, ainda, um ensino que contribua para o desenvolvimento de habilidades (Kuhn, 1989; Hodson, 2003; McGregor, 2007), aqui entendidas como recursos que podem ser mobilizados em diferentes situações e contextos, possíveis de ser articulados com a realidade

do indivíduo e/ou que contribuam para o desenvolvimento de conhecimentos relacionáveis com sua vivência e sua postura de cidadão crítico.

Assim, concordamos com o que tem sido criticado em diversas pesquisas e documentos sobre um ensino pautado na memorização de fatos e procedimentos restritos ao contexto de sala de aula, que pouco contribuem para o desenvolvimento de uma aprendizagem que consideramos significativa. Defendemos, então, que o conhecimento de Ciências deve corresponder às demandas do mundo atual, ultrapassando os limites de um conhecimento meramente declarativo e desenvolvendo um conhecimento aplicável e contextualizado.

Sem a pretensão de estabelecer os parâmetros sobre os quais devem se desenvolver os conhecimentos em Ciências, apresentamos alguns apontamentos sobre as perspectivas de ensino e aprendizagem que estruturam e/ou perpassam o presente trabalho. Uma adequada aprendizagem de Ciências, de acordo com o nosso ponto de vista e, ao mesmo tempo, concordando com o discurso de diversos pesquisadores (Millar, & Driver, 1987; Hodson, 2003; Sandoval, 2005), conforme previamente apontado neste trabalho, envolve: a compreensão de conceitos básicos de Ciências e, ao mesmo tempo, a capacidade de articular e empregar tais conhecimentos em diversas situações e contextos; o reconhecimento da Ciência como um construto humano, alterável, sujeito a falhas e dependente do seu processo e contexto de criação; a compreensão de relações entre a Ciência e a sociedade, a humanidade, o meio ambiente e a tecnologia; a capacidade de operar com conhecimentos e ferramentas da Ciência no dia-a-dia, sendo capaz de propor soluções, testar idéias e julgar informações. Para a promoção dessa aprendizagem acreditamos em uma abordagem com perspectivas construtivistas, com participação ativa do sujeito, em que ele deva operar com os conhecimentos, construindo significados diante disso. Além disso, devemos destacar a contribuição da construção social do conhecimento, que perpassa o presente trabalho, em especial nas estratégias de ensino desenvolvidas, que envolvem discussões em grupos e entre eles, proporcionando uma ampliação do conhecimento mediante a interação entre os indivíduos.

### **Habilidades no Ensino de Ciências**

Como discutido anteriormente, o rompimento com uma visão mais tradicional do ensino de Ciências – à qual tem sido associada à repetição de idéias e aplicação de algoritmos – tem assumido lugar de destaque no palco das discussões sobre o ensino de Ciências em todo o

mundo (como em Wellington, 2001; Duschl, & Grandy, 2008). Nessa perspectiva, pesquisadores da área de educação em ciências e professores têm defendido o rompimento com um ensino pautado na memorização de conceitos e classificações e têm valorizado a promoção de um ensino pautado no desenvolvimento de habilidades mais gerais, associadas ao pensamento científico.

Como também enfatizado anteriormente, esta crescente preocupação com um ensino que vá além dos conteúdos tem sido apontada por diversos documentos que norteiam o ensino de Ciências em todo o mundo, dentre os quais podemos citar: os Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1999), *Beyond 2000* (Millar, & Osborne, 1998) e *Science for All Americans* (AAAS, 1989). Tais documentos apresentam ênfase no desenvolvimento de habilidades, o que se relaciona à necessidade de compreensão dos processos acima, ou além, da compreensão dos fatos. Millar e Osborne (1998) afirmam que o ensino de Ciências deve:

*“tornar o estudante apto a aprender e praticar suas habilidades de localizar e interpretar informações, avaliar evidências e construir argumentos por ele próprio, apresentar suas idéias de forma escrita e oral e defender suas conclusões.”* (Millar, & Osborne, 1998, p. 23)

Os PCN (Brasil, 1999) também exprimem de forma explícita a necessidade de um ensino pautado no desenvolvimento de habilidades:

*“O desenvolvimento de habilidades e o estímulo ao surgimento de novas aptidões tornam-se processos essenciais, na medida em que criam as condições necessárias para o enfrentamento das novas situações que se colocam.”* (Brasil, 1999, p. 29)

Contudo, a definição de o que configura essas habilidades não é apresentada de forma explícita nesses textos e, ainda, esse termo aparece associado ao termo competências de forma confusa, como ocorre nos Parâmetros Curriculares + (Brasil, 2002):

*“Pode-se, de forma geral, conceber cada competência como um feixe ou uma articulação coerente de habilidades. Tomando-as nessa perspectiva, observa-se que a relação entre umas e outras não é de hierarquia. Também não se trata de gradação, o que implicaria considerar habilidade como uma competência menor. Trata-se mais exatamente de abrangência, o que significa ver habilidade como uma competência específica.”* (Brasil, 2002, p. 12)

Esta dificuldade associada à definição desses dois termos é apresentada na mesma página desse documento:

*“Não há receita, nem definição única ou universal, para as competências, que são qualificações humanas amplas, múltiplas e que não se excluem entre si; ou para a relação e a distinção entre competências e habilidades.”* (Brasil, 2002, p. 12)

O termo competências também é utilizado por outros textos em referência ao conhecimento que se deseja que os estudantes desenvolvam (Chamizo, & Izquierdo, 2007; Duarte, Vargas, Martinez, Córdoba, Pedraza, & Amaya, 2006; Lopes, & Costa, 2007).

Chamizo e Izquierdo (2007) explicam o sentido em que eles assumem competência:

*“Brevemente, pode-se dizer que uma competência apela ao saber, saber fazer, ser, viver com outros em situações da vida nas quais se tem que decidir como atuar. Se a competência tem a ver com Ciência, a situação é tal que mobiliza conhecimentos que não podem ser ‘do livro’, do contrário ela não corresponde a uma atividade científica.”* (Chamizo, & Izquierdo, 2007, p. 8).

Este excerto encontra-se no tópico intitulado *“Sobre a avaliação das habilidades do pensamento científico”*, no qual se discute competência e capacidade, mas sem que o termo habilidade seja mencionado no texto, o que demonstra que tais autores assumem uma relação de proximidade entre estes dois termos, sem exprimir uma preocupação em delimitá-los e/ou diferenciá-los.

Em Duarte *et. al* (2006), o conceito para competência científica é apresentado como:

*“a capacidade de um sujeito, expressa em desempenhos observáveis e avaliáveis que evidenciam formas sistemáticas de raciocinar e explicar o mundo atual e social, por meio da construção de interpretações apoiadas pelos conceitos da Ciência.”* (Duarte *et. al*, 2006, p. 66)

Tais autores defendem, ainda, que as competências se caracterizam pela mobilidade e flexibilidade no tempo e no espaço, possibilitando que o sujeito mostre, em sua atuação, as atitudes, princípios e procedimentos próprios da Ciência. Esta idéia está de acordo com aquela apresentada por Millar (1989), conforme descrito no item anterior deste capítulo, à medida que o desenvolvimento do conhecimento dos processos da Ciência apresenta aspectos próprios da área, indissociáveis dos conceitos e princípios da Ciência.

Por outro lado, no mesmo texto, Duarte *et. al* (2006) apresentam os termos competências e capacidades lado a lado, sendo possível, ainda, observar a introdução do termo habilidades sem uma definição clara para o mesmo ou sua distinção dos termos previamente apresentados: competência e capacidades.

*“As competências científicas básicas incluem a capacidade de um sujeito para reconhecer uma linguagem científica, desenvolver habilidades de caráter experimental, organizar informação e trabalhar em grupo.”* (Duarte *et. al*, 2006, p. 66)

Para a construção de significados sobre o termo competência é possível assumir, segundo Perrenoud (1999), que *“construir uma competência significa aprender a identificar e a*

*encontrar os conhecimentos pertinentes*” (Perrenoud, 1999, p. 23), o que pode levar à idéia de que a competência seria a mobilização de um esquema previamente adquirido. Nesse sentido, Perrenoud argumenta que:

*“Uma competência seria, então, um simples esquema? Eu diria que antes ela orchestra um conjunto de esquemas. Um esquema é uma totalidade constituída, que sustenta uma ação ou operação única, enquanto uma competência com uma certa complexidade envolve diversos esquemas de percepção, pensamento, avaliação e ação que suportam inferências, antecipações, transposições analógicas, generalizações, apreciação de probabilidades, estabelecimento de um diagnóstico a partir de um conjunto de índices, busca das informações pertinentes, formação de uma decisão, etc.”* (Perrenoud, 1999, p.24)

Segundo esse excerto, é possível assumir que competências constituem funções mais amplas. Contudo, ele introduz outro termo: esquema. Segundo o que é apresentado sobre esquema – *“uma totalidade constituída, que sustenta uma ação ou operação única”* – é possível identificá-lo como um conjunto de ações do pensamento que se correlacionam no sentido de executar determinada tarefa.

Mesmo indicando a existência de uma polissemia entre os termos competências e habilidades, os próprios Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1999; 2002) apontam que ‘competências’ são modalidades mais gerais da inteligência e ‘habilidades’ são processos do saber fazer que se articulam às referidas competências:

*“(…) competências são modalidades estruturais da inteligência, ou melhor, ações e operações que utilizamos para estabelecer relações com e entre objetos, situações, fenômenos e pessoas que desejamos conhecer. As habilidades decorrem das competências adquiridas e referem-se ao plano imediato do ‘saber fazer’.”* (Brasil, 2002, p. 05)

Entretanto, considerar que cada competência orchestra um determinado número de habilidades não significa que certa habilidade *pertence* a uma ou outra competência.

Macedo (2005) apresenta uma leitura dos termos competência e habilidade associada ao contexto em que se aplica determinado conhecimento, ao que ele exemplifica:

*“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)

Esta leitura dos termos competência e habilidade está em consonância com o que foi previamente discutido sobre a maior abrangência das competências. Contudo, o autor agrega à discussão a possibilidade e, talvez, a necessidade, de não se estabelecer limites rígidos para os significados desses dois termos.

Recentemente, Lino de Macedo (comunicação pessoal, 13 de outubro, 2009) especificou melhor os significados de habilidades e competências, dizendo que habilidade é algo que faz parte da estrutura cognitiva das pessoas, de forma potencial, e pode ou não ser desenvolvida, de acordo com os estímulos ou situações sócio-educacionais e ambientais nas quais as pessoas se inserem. A competência se relacionaria a usar bem uma habilidade, de forma a se atingir completamente o propósito ao qual se destina.

Alguns estudos (como, por exemplo, Pennington, Nicolich, & Rahm, 1995) apontam a existência de habilidades e sub-habilidades que confluem para as idéias apresentadas sobre competências e habilidades, respectivamente. As habilidades citadas por esses autores referem-se a processos mais gerais, enquanto as sub-habilidades estão voltadas a etapas específicas requeridas para se alcançar o desenvolvimento das habilidades. Por exemplo, a habilidade de resolver equações algébricas requer da pessoa as sub-habilidades de compreender o problema, selecionar equações matemáticas adequadas e resolver essas equações (Pennington *et. al*, 1995).

O termo habilidade é normalmente introduzido em textos de ensino de Ciências de forma bastante natural, sem a apresentação de definições explícitas para tal termo. Por exemplo, Fairbrother (1989) afirma haver uma grande variedade de habilidades científicas, apesar de não se ter um exato significado para habilidade. Esse autor aponta, ainda, a existência de uma confusão entre habilidades e processos. Ele define uma habilidade como *“uma atividade específica na qual o estudante pode ser treinado a fazer”* e, ainda, a diferença de processos afirmando que esses são *“uma atividade racional que envolve a aplicação de uma gama de habilidades”* (Fairbrother, 1989, p. 99). Fairbrother afirma que devemos ultrapassar a terminologia e pautar em saber o que se quer que os estudantes façam, chamando essas ações de habilidades – que podem ser gerais (macro habilidades) ou específicas (micro habilidades).

Apesar da variedade de termos empregados para designar os conhecimentos que se deseja promover a partir do ensino de Ciências, grande parte da literatura sobre habilidades apresenta concordância em dois aspectos: (i) possibilidade de transferência desses recursos e (ii) identificação de muitas das habilidades envolvidas nos processos da Ciência. Contudo, deve-se salientar que este trabalho assume a idéia de transferência dessas habilidades não

como um processo mecânico, de simples aplicação de conhecimentos a situações previamente determinadas para as quais ocorreu um *treinamento*, nem à crença de um “saber-fazer” universal, que operaria em toda e qualquer situação. A concepção de habilidades presente neste trabalho está associada a recursos mobilizáveis, que estão associados ao seu valor de uso, em que as transferências ocorrem de forma analógica e permitem a execução de tarefas diferenciadas, seja na gênese do problema, seja nos conhecimentos que devem ser mobilizados. Todavia, deve-se considerar, conforme apontado por Schunn e Anderson (1999), que a mobilização de determinada habilidade depende do reconhecimento de relações estruturais entre as estruturas previamente construídas e a nova situação colocada. Considerando-se estas discussões, o presente trabalho se propôs a identificar a manifestação de habilidades a partir de ações específicas, isto é, considerando cada um dos passos ou ações realizadas no transcorrer de um processo e que são necessários ao desenvolvimento das atividades que são foco desta pesquisa, isto é, atividades investigativas de construção de modelos em Ciências. Assim, assume-se aqui a visão mais difundida na literatura de se associar habilidades a processos mais específicos, às etapas de um saber fazer e, ao mesmo tempo, restringimo-nos às habilidades relacionadas ao conhecimento em e sobre Ciências.

O desenvolvimento de habilidades científicas tem sido alvo de diversos estudos na área (Wellington, 1989; Zohar, & Nemet, 2002; Brook, Driver, & Johnston, 1989; Gomes, 2005; Kuhn, Black, Keselma, & Kaplan, 2000; Sandoval, 2005; Wu, & Hsieh, 2006), muitos dos quais têm apontado um grande potencial para o desenvolvimento de tais habilidades por meio de atividades investigativas. A justificativa do emprego dessas atividades está na possibilidade de se inserir os estudantes em atividades que exigem a construção ativa do conhecimento por meio da elaboração de respostas para determinados problemas. Um breve relato sobre o uso dessas atividades no ensino é apresentado a seguir, discutindo o processo de investigação em si e as habilidades cognitivas que são associadas ao mesmo, com o propósito de fornecer maior compreensão sobre tal processo.

### **Atividades investigativas no ensino de Ciências**

*“Os jovens precisam de um entendimento sobre como a investigação científica é conduzida para ajudá-los a apreciar o raciocínio que está por trás das afirmativas do conhecimento científico.”*

(Millar, & Osborne, 1998, p. 11)

A contribuição do uso de atividades investigativas em Ciências para o desenvolvimento de habilidades tem sido amplamente reconhecida por pesquisadores da área de educação em

Ciências (Zohar, 2004). Contudo, ao mesmo tempo em que salientam a importância do ensino pautado no desenvolvimento de habilidades, muitos estudos apontam que existe grande dificuldade de acompanhar o processo de aprendizagem e de mobilização dessas habilidades, uma vez que elas comumente demandam diversas ações mentais de difícil acesso (Millar, 1989; Vollmeyer, Burns, & Holyoak, 1996). Para a compreensão do processo vivenciado pelos estudantes durante as atividades investigativas, inclusive reconhecendo as habilidades nelas empregadas, faz-se necessário uma compreensão geral do processo de investigação em Ciências e no ensino de Ciências.

Schwarz e White (2005) descreveram e relacionaram as etapas envolvidas em um processo de investigação conforme representado esquematicamente na figura 1.

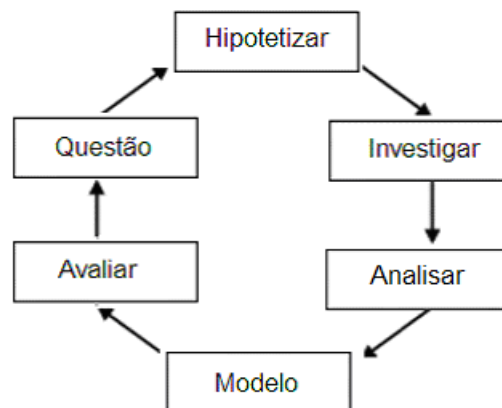


Figura 1. Ciclo de investigação. (Schwarz, & White, 2005, p. 173)

O processo de investigação representado acima explicita as etapas fundamentais nele envolvidas, o que torna possível uma análise e um planejamento mais detalhados desse processo (inclusive em relação às atividades de investigação planejadas para o ensino) e, conseqüentemente, uma previsão em relação às ações do sujeito em cada etapa da investigação.

Conforme apresentado na figura 1, o processo de investigação pode ser iniciado por questões, que são formuladas a partir da análise e compreensão da situação problema, delimitando o que se deseja investigar. A partir deste momento, são levantadas hipóteses que devem ser devidamente investigadas (por meio da busca de informações, testes, experimentos, entre outros), o que deverá fornecer novos elementos sobre o sistema em estudo. As informações obtidas não são em si um produto do processo de investigação, devendo ser relacionadas e interpretadas em um processo de análise. As idéias desenvolvidas até então serão integradas na formulação de uma possível resposta à investigação, o que, segundo as autoras, consiste em um modelo. A avaliação, com o devido reconhecimento da

plausibilidade e da abrangência do modelo, ocorre mediante a apresentação do mesmo para um grupo que deverá julgar sua validade (no caso da Ciência, para a comunidade científica). Esta última etapa pode contribuir fornecendo novos elementos sobre o problema, podendo haver uma continuidade no ciclo em que o processo será novamente desenvolvido, proporcionando o progresso das idéias.

Contudo, esta representação do processo de investigação é bastante simplificada, uma vez que o processo de investigação não é, necessariamente, tão direto ou linear, podendo haver movimentos contrários aos representados no ciclo, com retornos a etapas anteriores, sub-etapas e até mesmo inversão da ordem dessas, o que dependerá das especificidades do processo conduzido. Por exemplo, a etapa de investigação pode anteceder a de elaboração de hipóteses caso os conhecimentos prévios do indivíduo não sejam suficientes para gerá-las.

Entretanto, considerando que o esquema da figura 1 representa as principais etapas envolvidas em um processo de investigação, ele pode subsidiar a análise de quais são os principais conhecimentos e habilidades que o aluno deve mobilizar em cada etapa, conforme será relacionado posteriormente.

No ensino de Ciências, o trabalho com atividades de investigação tende a promover o conhecimento sobre a Ciência e sua construção, além do desenvolvimento de habilidades do pensamento científico por meio de quatro demandas fundamentais, que são: “saber o quê”, “saber como”, “saber por que”, e “saber quando e onde aplicar o conhecimento”. Estas demandas mobilizam tanto o conhecimento declarativo (*saber o quê* – em que os estudantes devem conhecer e raciocinar a partir de fatos científicos básicos, conceitos e princípios); conhecimento procedimental (*saber como* – em que os estudantes devem saber aplicar os princípios, fatos e conceitos no processo de “fazer Ciência”); conhecimento esquemático<sup>2</sup> (*saber por que* – em que os estudantes devem saber explicar e prever fenômenos, entendendo como e porque alegações científicas são validadas, explicando e raciocinando com modelos) e conhecimento estratégico (*saber quando e onde aplicar* – em que os estudantes devem aplicar seu conhecimento em novas situações e problemas) (National Center for Education Statistics, 1997).

Duschl e Grandy (2008) afirmam que a incorporação de atividades investigativas no ensino deve ser focada em três domínios:

*“1. Nas estruturas conceituais e processos cognitivos usados quando se raciocina cientificamente;*

---

<sup>2</sup> No sentido de ser aquele que apresenta as idéias principais de uma maneira simples e organizada.

2. *Nas atividades epistêmicas usadas quando o conhecimento científico é desenvolvido e avaliado;*
3. *Nos processos sociais e contextos que determinam como o conhecimento é comunicado, representado, questionado e debatido.” (Duschl et. al, 2008, p. 3)*

Assim, as atividades investigativas tendem a contribuir tanto para o desenvolvimento de conhecimentos específicos (conceituais) quanto para conhecimentos associados à construção da própria Ciência.

A Ciência pode ser vista como um processo de criar leis, modelos e teorias que habilitam as pessoas a prever, observar, explicar e controlar o comportamento do mundo (White, & Frederiksen, 2000). A partir disso, o objetivo das atividades de investigação científica aplicadas no ensino deve ser promover esta visão da Ciência e o entendimento sobre a mesma, tornando-a acessível aos estudantes. Merecido destaque deve ser dado aos conhecimentos metacognitivos<sup>3</sup> desenvolvidos durante o processo, chamando a atenção para a possibilidade de o estudante compreender melhor a natureza e utilidade dos modelos científicos, bem como os processos pelos quais eles são criados, testados e revisados (White, & Frederiksen, 2000), uma vez que os estudantes são introduzidos ativamente nesse processo do pensamento.

Para que atividades investigativas sejam recursos para desenvolver o conhecimento sobre e de determinados aspectos das pesquisas científicas, os educadores devem desenvolver questões acessíveis aos estudantes, mas que, ao mesmo tempo, capturem os componentes principais do pensamento científico (Chinn, & Malhotra, 2002). Esta última asserção é corroborada pelos resultados obtidos por Suart (2008), que apresenta como uma importante conclusão de seu trabalho a verificação da relação entre a elaboração das atividades de ensino e as habilidades nelas manifestadas, havendo a necessidade de o professor propor questões que desafiem o estudante para a manifestação de habilidades de alta ordem<sup>4</sup>.

A pesquisa desenvolvida por Suart (2008) apresenta outros aspectos bastante relevantes no que tange à manifestação de habilidades a partir de atividades investigativas aplicadas no ensino de Ciências. Seu trabalho consiste em uma ampla análise das habilidades empregadas por uma amostra de estudantes brasileiros da primeira e da segunda série do Ensino Médio em atividades investigativas conduzidas em aulas de química. Seqüências de

---

<sup>3</sup> O conceito de metacognição se refere ao conhecimento e controle do próprio processo cognitivo, o que pode envolver tanto o conhecimento sobre os sistemas cognitivos e seus conteúdos como a efetiva regulação e controle desses sistemas (Zohar, 2004).

<sup>4</sup> Segundo Zohar (2004), habilidades de alta ordem do pensamento podem ser usadas para delinear qualquer atividade cognitiva que está além do estágio de entendimento. Segundo Resnick (1987, apud Zohar, 2004), as habilidades de alta ordem do pensamento são complexas, não-algorítmicas, frequentemente produzem múltiplas soluções e envolvem a aplicação de múltiplos critérios.

aulas de química foram analisadas em duas turmas de escolas diferentes. O registro das idéias dos estudantes foi feito através de atividades escritas e de gravações em áudio e vídeo das aulas. As habilidades identificadas foram classificadas em algorítmicas (ALG), baixa ordem (Low Order Cognitive Skills – LOCS) e alta ordem (High Order Cognitive Skills – HOCS), a partir de uma classificação proposta por Zoller *et al.* (2002, *apud* Suart, 2008), que considera as habilidades de acordo com a demanda cognitiva. Nesse estudo, Suart afirma que as categorias empregadas *“e suas características foram dimensionadas com o objetivo de analisar quais habilidades cognitivas os alunos parecem utilizar na resolução dos problemas experimentais propostos”* (Suart, 2008, p. 76). A análise realizada em sua pesquisa demonstrou que, apesar de os estudantes demonstrarem habilidades de alta ordem, eles apresentam dificuldades em generalizar suas idéias, extrapolando para outras situações os conhecimentos desenvolvidos dentro de um determinado contexto.

Um aspecto importante a ser considerado é que a maioria das pesquisas aborda o desenvolvimento de apenas algumas habilidades, ou mesmo uma única habilidade, especialmente em relação a atividades práticas. O acompanhamento do desenvolvimento ou avaliação de uma única habilidade é pertinente, segundo Fairbrother (1989), porque habilidades podem configurar etapas específicas, atividades independentes, possíveis de ser identificadas e avaliadas separadamente. Por exemplo, Gomes (2005) analisa o desenvolvimento da capacidade<sup>5</sup> de os estudantes desenvolverem testes experimentais adequados e consistentes em atividades investigativas. Nessa pesquisa, estudantes brasileiros de ensino médio participaram de atividades investigativas que envolviam simulações computacionais sobre dois problemas da física: “plano inclinado” e “equilíbrio térmico”. Durante a condução da investigação, o estudante deveria registrar justificativas sobre as escolhas dos valores empregados para as variáveis e sobre o resultado obtido ao final de cada simulação. Os resultados obtidos em sua pesquisa apontam a dificuldade relacionada ao desenvolvimento e/ou aplicação da habilidade avaliada, uma vez que os estudantes apresentaram dificuldades em reconhecer os testes adequados e consistentes, justificar sua importância e, ainda, tiveram dificuldade em justificar porque outros testes não eram consistentes ou adequados.

Uma pesquisa conduzida por Toth, Suthers e Lesgold (2002) analisou a habilidade de avaliar evidências empíricas frente a múltiplas hipóteses. Esse trabalho analisou a capacidade<sup>5</sup> de os estudantes transformarem informações de hipertextos da *web* em dois tipos de

---

<sup>5</sup> Termo usado pelo(s) próprio(s) autor(es), interpretado neste trabalho com o sentido de habilidade.

representações: mapa de evidências e texto em prosa (fazendo o registro em um processador de texto habitual). Os estudantes foram previamente apresentados e devidamente instruídos para o uso dos softwares. Com o uso dessas ferramentas, os estudantes tiveram que buscar informações na Internet para responder aos problemas propostos. Dentre essas informações, eles deveriam selecionar as que constituíam evidências e as que eram hipóteses, as relações existentes entre elas e suas conclusões. Esse trabalho apresenta importante conclusão ao mostrar a contribuição do mapeamento de evidências nos relacionamentos e conclusões estabelecidas pelos estudantes.

Outro trabalho que avalia habilidades específicas foi desenvolvido por Wu e Hsieh (2006), cuja pesquisa contemplou as habilidades desenvolvidas pelos estudantes nas atividades investigativas em relação à construção de explicações. Quatro habilidades tomadas como relevantes para a elaboração de explicações foram previamente selecionadas pelos pesquisadores a fim de ser analisadas: identificar relações causais, descrever o processo de raciocínio, usar os dados como evidências e avaliar explicações. Os estudantes participaram de seis atividades investigativas em que tiveram que construir explicações científicas. A análise se pautou não apenas na identificação das habilidades empregadas pelos estudantes, mas também no desenvolvimento delas ao longo das atividades de ensino. Os estudantes apresentaram progressos em relação a três habilidades: identificar relações causais, descrever o processo de raciocínio, e usar os dados como evidências. Contudo, não foi verificado muito progresso em relação à habilidade de avaliar explicações. Nesse sentido, os autores enfatizam a necessidade de um ensino que contemple mais o desenvolvimento do caráter crítico dos estudantes.

A avaliação de uma ou poucas habilidades durante o processo de investigação, apesar de constituir um problema de pesquisa legítimo (Fairbrother, 1989), compromete a compreensão do processo como um todo e, especialmente, a análise das relações entre as habilidades. Além disso, identificar quais habilidades podem ser associadas a cada etapa do processo de investigação tende a proporcionar a estruturação das atividades de ensino ou pesquisa com maior consciência do que se deseja abordar ou investigar.

Nesse sentido, faz-se necessário conhecer as habilidades descritas na literatura acerca do processo de investigação científica. Segundo Zohar (2004), as habilidades envolvidas nos processos da Ciência são derivadas de uma lista de atividades que foram tradicionalmente usadas, de acordo com um paradigma positivista da Ciência, para descrever o trabalho dos cientistas. As habilidades mais comumente citadas são: definir um problema de pesquisa,

formular hipóteses, testar hipóteses, planejar experimentos (incluindo o controle adequado dos mesmos), conduzir experimentos, coletar dados, analisar dados e elaborar conclusões. Entretanto, essas ações identificadas como habilidades são denominadas como competências ou como processos em outros textos. A denominação *processos* decorre do fato de que cada uma destas habilidades citadas remonta a uma série de ações do pensamento, e cada uma dessas ações do pensamento pode ser considerada como uma habilidade. Isto retoma a discussão previamente apresentada nesse trabalho sobre as incongruências nas definições desses termos.

Por exemplo, Fairbrother (1989) considera a elaboração de conclusões como um processo que orchestra uma série de habilidades, não como uma habilidade, como proposto por Zohar (2004). Chinn e Malhotra (2002), por sua vez, não empregam o termo habilidade. Eles apresentam a atividade de investigação científica associada a processos – que são semelhantes às habilidades citadas por Zohar (2004). Esses processos estão relacionados a um conjunto de *sub-processos* que, por sua vez, se relacionam a um conjunto de *ações*. Por exemplo, Chinn e Malhotra (2002) consideram o desenho da investigação como um processo ao qual estão associados os sub-processos de: selecionar variáveis (que envolve as ações de selecionar variáveis e construir variáveis de embasamento teórico); planejar procedimentos (associado às ações de planejar procedimentos para controlar experimentos, capturar dados, analisar os dados e, ainda, estabelecer analogias com outros procedimentos); controlar variáveis (associado às ações de identificar as variáveis que precisam ser controladas, decidir como implementar o papel do controle e operar equipamentos adequadamente); planejar medidas (o que se relaciona à medida de múltiplas variáveis, incluindo medidas que servem para checar a manipulação do experimento). Dessa forma, é possível associar cada uma das etapas do pensamento científico citadas por Zohar (2004) a processos e, a cada um deles, associar uma série de ações coordenadas que serão chamadas de habilidades, segundo a definição assumida nesse trabalho (isto é, cada um dos passos ou ações realizadas no transcorrer de um processo e que são necessárias ao desenvolvimento das atividades investigativas).

Habilidades do pensamento relacionadas a um contexto geral de aprendizagem, isto é, não apenas para o ensino de Ciências, propostas pelo Departamento de Educação e Habilidades inglês (DfES) para serem desenvolvidas no ensino fundamental são apresentadas por McGregor (2007). A tabela 1 reproduz a tabela apresentada por pela autora.

O conhecimento sobre as habilidades do pensamento sob um aspecto geral se justifica pela possibilidade de o pensamento científico poder ser descrito a partir dessas, considerando aspectos específicos associados a essa prática e à natureza do conhecimento científico. Além disso, McGregor (2007) afirma que é possível o desenvolvimento de mais habilidades do que as citadas na tabela 1, em especial quando se consideram atividades que envolvem a resolução de problemas (como é o caso das atividades de investigação científica abordadas no presente trabalho). A autora ressalta o desenvolvimento de habilidades que são fundamentais tanto para o desenvolvimento social do conhecimento quanto para o desenvolvimento conceitual do mesmo, citando as seguintes habilidades: “*esclarecer, extrapolar, racionalizar, explicar, elaborar, explorar, deliberar, justificar, priorizar e negociar*” (McGregor, 2007, p. 44). Isto está associado às atividades de resolução de problemas fornecerem oportunidades para o trabalho em grupos, incentivando a participação colaborativa dos estudantes (McGregor, 2007; Anderson, 1993).

<b>Descritor da habilidade de pensamento</b>	<b>Constituintes específicos da função cognitiva</b>
Processamento de informação (desenvolvidas pela identificação de informações relevantes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrar informações relevantes</li> <li>• Ordenar / classificar / seqüenciar informações</li> <li>• Comparar / contrastar informações</li> <li>• Identificar e analisar relacionamentos</li> </ul>
Raciocínio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Justificar ações / opiniões</li> <li>• Inferir</li> <li>• Deduzir</li> <li>• Julgar / decidir</li> <li>• Usar linguagem precisa para raciocinar</li> </ul>
Pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazer perguntas</li> <li>• Definir questões de pesquisa</li> <li>• Planejar a pesquisa</li> <li>• Prever resultados</li> <li>• Antecipar conseqüências</li> <li>• Elaborar conclusões</li> </ul>
Criatividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerar idéias</li> <li>• Desenvolver idéias</li> <li>• Criar hipóteses</li> <li>• Aplicar a imaginação</li> <li>• Procurar alternativas inovadoras</li> </ul>
Avaliação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolver critérios de avaliação</li> <li>• Aplicar critérios de avaliação</li> <li>• Julgar o valor das informações e das idéias</li> </ul>

Tabela 1. Categorização das habilidades do pensamento (McGregor, 2007, p. 33)

Uma vez que o presente trabalho se ocupa das habilidades científicas desenvolvidas em um contexto de ensino, faz-se importante uma adequada identificação de *quais* são as habilidades consideradas nas pesquisas da área, tanto no contexto das habilidades gerais do pensamento associadas às atividades de investigação em Ciências, quanto no contexto daquelas habilidades mais específicas desse processo, conforme apresentadas nos estudos descritos. Entretanto, como as atividades investigativas aqui analisadas basearam-se em modelagem, tal identificação é precedida da discussão se alguns aspectos desse processo.

### **Processos de investigação e modelagem**

Modelar pode ser definido como o ato ou processo de criar, testar e reformular modelos para um fenômeno, evento ou idéia através da seleção, interpretação, compreensão e integração de aspectos relevantes para descrever e explicar o comportamento do mesmo.

Em um processo de modelagem, tem-se como produto a elaboração de um modelo, que é elaborado pela integração de modelos prévios, idéias e articulação desses com evidências, sendo este modelo uma possível resposta para o problema inicialmente colocado. Dessa forma, o modelo pode ser também o produto de um processo de investigação, conforme apresentado na figura 1.

O processo de modelagem tem sido apontado como uma das práticas fundamentais do processo de pesquisa científica (Justi, & Gilbert, 2002; Fairbrother, 1989; Schwarz & White, 2005). Em concordância com isso, e considerando a relevância do uso de atividades investigativas no ensino, muitos pesquisadores (Justi, & Gilbert, 2002; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002; Vosniadou, 2002) têm salientado a necessidade do desenvolvimento do conhecimento sobre modelos e seu processo de construção.

Segundo esses pesquisadores, o uso de processos de modelagem em atividades de ensino apresenta o potencial de desenvolver o conhecimento dos não só acerca de conteúdos específicos, mas como uma construção humana, em que modelos variam em sua capacidade de aproximar, explicar e prever os fenômenos do mundo real (Gilbert, 1991). Assim, tais atividades criam um rico contexto que viabiliza o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes sobre os princípios e o processo de construção da Ciência (Duit, & Glynn, 1996; Justi, & Gilbert, 2002).

No contexto escolar, atividades de modelagem são consideradas atividades de investigação, pois elas englobam uma situação-problema a partir da qual o estudante deverá integrar idéias e/ou evidências que levem à proposição de um modelo que a respondam.

Em Ciências, um *modelo* pode ser definido como uma representação parcial de um objeto, evento, processo ou idéia que é produzida com propósitos específicos como, por exemplo, facilitar a visualização, fundamentar a elaboração e teste de novas idéias, possibilitar a elaboração de explicações e previsões sobre comportamentos e propriedades do sistema modelado (Gilbert *et al.*, 2000). Por isso eles são uma das principais ferramentas usadas pelos cientistas e um dos principais produtos da ciência (Morrison, & Morgan, 1999; Gobert, & Buckley, 2000; Barab *et al.*, 2000; Justi, & Gilbert, 2003).

O conhecimento desenvolvido pelos estudantes acerca de modelos e do uso desta importante ferramenta na Ciência está relacionado à forma de abordagem dos mesmos em sala de aula. Perceber os modelos como representações simplificadas e, principalmente, limitadas, muitas vezes sujeitas a falhas, faz parte do desenvolvimento de um conhecimento adequado sobre Ciência. Por outro lado, o uso de modelos em si não tende a contribuir muito para o conhecimento sobre Ciência se os mesmos forem apresentados aos alunos como um conhecimento pronto e acabado, sem discutir suas limitações ou seu processo de construção, como tem ocorrido com freqüência no ensino (Morrison, & Morgan, 1999; Crawford, & Cullin, 2004).

Em contrapartida, os estudos que defendem o uso das atividades de modelagem no ensino apontam a contribuição deste processo à medida que tal vivência favorece o desenvolvimento do conhecimento sobre o status dos modelos em Ciências e, principalmente, suas propriedades, seu processo de construção e validação. Além disso, o ensino através da modelagem pode promover um aprendizado participativo, na medida em que os alunos trabalham juntos na construção de significados, conceitos e representações (Barab *et al.*, 2000; Gobert, & Buckley, 2000).

Assim, a condução de um ensino fundamentado no processo de modelagem pode ser vista como uma excelente oportunidade para o desenvolvimento e compreensão de habilidades de investigação científica. Isto porque elaborar um modelo implica em: buscar, selecionar e integrar itens que são considerados relevantes no contexto de uma questão particular, gerar hipóteses que deverão originar um modelo inicial, o qual será submetido a um ciclo de teste, revisão e reelaboração até a produção de descrições e explicações satisfatórias para a questão. Observando o esquema que descreve a atividade de investigação científica (Figura 1), o processo de modelagem contempla todas as etapas consideradas em um processo de investigação e, conseqüentemente, pode evocar todas as habilidades relacionadas ao mesmo. Além de contribuir para o desenvolvimento de habilidades, a participação em

atividades de modelagem pode contribuir para desenvolvimento da percepção do domínio, aplicação e limitações dos modelos elaborados pelos próprios estudantes.

Segundo Halloun (2004),

*“as complexidades empírica e de raciocínio aumentam progressivamente dentro e ao longo de cada etapa do processo, isto é, dentro de um dado modelo e de um modelo para o outro”* (Halloun, 2004, p. 144).

Ainda segundo este autor, essa progressão ocorre em atividades de modelagem empregadas no ensino a partir de modelos básicos elementares. Esses modelos são empregados no processo de modelagem e são gradualmente refinados até que eles se tornam mais adequados para explicar o que é pretendido. Os modelos tendem a ser construídos inicialmente como um modelo descritivo e, então, como um modelo explanatório. A função do modelo tende a progredir à medida que novos referenciais são acrescentados, levando ao desenvolvimento de modelos mais abrangentes.

Assim, ao longo de cada processo de modelagem e de um processo para o outro é possível assumir que são criadas oportunidades para o indivíduo empregar, aperfeiçoar e mesmo sofisticar uma série de habilidades, o que é parte do processo de desenvolvimento do próprio raciocínio do indivíduo. Tal desenvolvimento pode ser associado ao que Perrenoud (1999) identifica como *“a ligação de uma situação com um ‘conjunto lógico’”*, o que, até certo ponto, implica em *“enfrentar o desconhecido associando-o ao conhecido, desde que uma forma de intuição lógica permita uma transferência a partir de experiências anteriores ou de conhecimentos gerais”* (Perrenoud, 1999, p. 30).

Na prática em sala de aula, o desenvolvimento dessas habilidades dos estudantes deve ser acompanhado nas atividades de modelagem promovidas, fornecendo um *feedback* em relação ao aprendizado e em relação à própria condução da atividade de modelagem. Isto deve ocorrer de forma que o processo de ensino seja constantemente avaliado, repensado e, se necessário, reestruturado. Desta maneira, esse *feedback* poderá permitir ao professor dar suporte adequado aos estudantes, fornecendo os estímulos e informações necessários ao desenvolvimento do raciocínio dos mesmos, de forma que eles desenvolvam uma aprendizagem significativa.

Para o acompanhamento deste processo, é necessária a compreensão sobre o processo de modelagem em si e sobre as habilidades a ele associadas. Para isto, um diagrama que representa detalhadamente as etapas envolvidas no processo de modelagem, proposto por Justi e Gilbert (2002), é apresentado (figura 2) e descrito brevemente.

Este diagrama não tem o objetivo de representar os passos que devem ser executados durante o processo de construção de um modelo numa ordem específica. O diagrama “Modelo de Modelagem” foi elaborado como resultado da análise de como modelos são construídos na Ciência. Todas as etapas e processos apresentados no diagrama são necessários e inerentes à construção de modelos, sendo geralmente executados conscientemente (por cientistas) ou não (por estudantes e pessoas leigas).

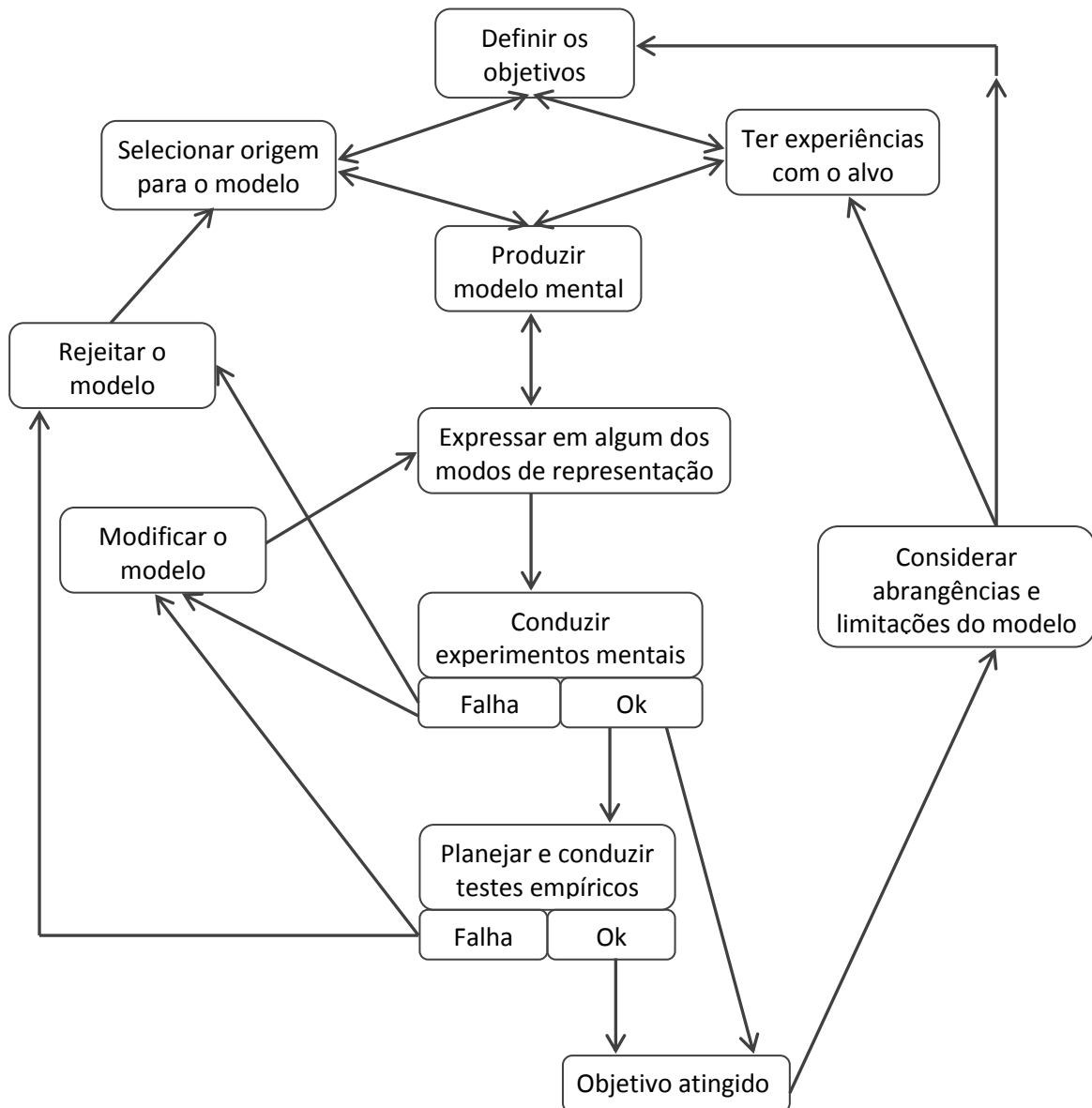


Figura 2. Diagrama “Modelo de Modelagem” (Justi, & Gilbert, 2002, p. 371)

Cada etapa descrita pelo diagrama envolve um conjunto de ações e, conseqüentemente uma série de habilidades para executá-las. A descrição apresentada a seguir, sobre o processo representado pelo diagrama, foi elaborada a partir das proposições

originais dos autores do mesmo (Justi, & Gilbert, 2002; Justi, 2006). Posteriormente, esta descrição será empregada no presente trabalho para estabelecer o relacionamento entre tais etapas e as habilidades envolvidas no processo.

A construção de um modelo se inicia pela consideração do fenômeno que se deseja estudar, momento em que ocorre a *definição dos objetivos*, o que parte da análise e compreensão da situação problema. A partir disso, serão limitados os aspectos a serem abordados e será determinado o ponto de partida para a construção do modelo, que é um modelo mental.

O início do processo de construção do modelo requer *experiência com o alvo* (a entidade a ser modelada) e *seleção da origem do modelo*. A etapa de ter experiência com o alvo envolve um cuidadoso estudo do sistema em análise, com a identificação de algumas de suas propriedades. Isto não se limita à observação de um sistema físico. Tal experiência também pode ser obtida a partir da leitura de um texto ou da visualização de uma simulação. Além disso, esse elemento também depende das informações prévias que se tem sobre o sistema.

A origem para o modelo pode ser uma analogia ou, menos freqüentemente no contexto de ensino, um modelo matemático que, elaborados ou utilizados a partir das experiências com o alvo, fornecem a base para a elaboração do modelo mental inicial.

Assim, o modelo mental pode ser elaborado com base em concepções prévias, a partir da modificação de modelos anteriores e, principalmente, através da integração entre estes e as novas informações obtidas sobre o sistema. O importante é mobilizar e sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação-problema que poderão favorecer a elaboração de um modelo para tentar solucionar uma questão. Nesta etapa, a formulação de hipóteses acompanha o desenvolvimento do modelo mental, formulado como tentativa de solução à questão em estudo.

Uma vez que o modelo mental só é acessível ao indivíduo que o elaborou, ele deve buscar expressá-lo através de algum modo de representação para torná-lo acessível e comunicá-lo a outros. O processo de *expressão do modelo* requer uma adequação entre o modelo que a pessoa elaborou em sua mente e o modelo que será expresso, podendo ocorrer um ciclo de alterações em ambos até o ponto em que um modelo esteja satisfatoriamente de acordo com o outro.

Em seguida, o modelo expresso obtido deve passar à etapa de *testes*. Tais testes podem ser de duas naturezas: via experimentos mentais e através de planejamento e

realização de testes empíricos. Esta etapa pode ser caracterizada pela ocorrência sucessiva ou alternada desses dois tipos de teste ou pela utilização de um único tipo. Isto irá depender da natureza da entidade modelada e/ou da disponibilidade de materiais necessários à realização de testes empíricos.

A realização de *experimentos mentais* envolve processos de raciocínio que se baseiam em resultados de um experimento conduzido em pensamento. Nessa etapa, o modelo deve ser empregado em várias situações imaginárias para que seja possível avaliar a sua aplicabilidade, sua capacidade de explicação e/ou previsão e sua coerência com resultados esperados para os testes mentais. Por outro lado, *testes empíricos* são atividades práticas, seguidas da coleta e análise de dados e da avaliação dos resultados produzidos em relação às previsões derivadas do modelo. A produção de determinados resultados apenas terá sentido após a análise e interpretação dos mesmos, o que conduzirá à validação do modelo em si.

Após a obtenção de um modelo que pode ser considerado, até então, bem sucedido, ele deve ser apresentado para outras pessoas que reconhecerão (ou não) sua validade. Essa etapa é muito importante para que sejam levantadas as *limitações do modelo*, bem como a extensão de seu emprego. Esta etapa permite a formulação de novas hipóteses e a previsão do comportamento desse modelo em outras situações, além da proposição de novos experimentos e demonstrações, com novas interpretações e críticas ao modelo. Isto permite estabelecer a relação entre a parte e o todo ou, pelo menos, localizar o modelo produzido dentro de um contexto de conhecimento mais amplo. Esta etapa enfatiza os modelos como uma criação humano, sujeita a mudanças e com limitações inerentes.

Um aspecto que deve ser destacado no diagrama é que a modelagem não é um processo linear e muito menos unidirecional. Isto é claramente evidenciado pelas setas duplas representadas na figura 2, que sugerem a possibilidade de etapas posteriores interferirem em etapas já realizadas, o que pode promover uma reentrada no processo ou, em alguns momentos, a reconsideração de dados e informações, a integração de novos conhecimentos, e a aceitação ou rejeição do modelo.

Apesar da destacada relevância do uso de atividades de modelagem no ensino, essas ainda não são amplamente difundidas no contexto escolar. Algumas pesquisas têm atualmente sido conduzidas no sentido de desenvolver e aplicar estratégias de ensino baseadas nesta visão de modelagem, e avaliar a aprendizagem de conteúdos. Por exemplo, Maia e Justi (2009) desenvolveram uma estratégia baseada em atividades de modelagem para o ensino do tema equilíbrio químico. Esta estratégia envolveu a participação dos estudantes em atividades

empíricas no sentido de obter dados e buscar mais informações sobre os sistemas reversíveis e sobre o estado de equilíbrio químico. Durante as atividades, os estudantes passaram por diversas etapas de reelaboração de seus modelos, submetendo-os à avaliação e questionamentos da turma, o que promoveu uma compreensão gradual sobre o tema. Esse processo resultou no desenvolvimento de conhecimentos significativos pelos estudantes acerca do tema e, ainda, na motivação dos mesmos para participar desse processo ativo de construção de conhecimento. O conhecimento sobre o próprio processo de modelagem e o conhecimento sobre a Ciência não foram avaliados explicitamente devido às limitações dos registros em vídeo e escritos coletados naquele estudo. Isto aponta para a necessidade de avaliar tais conhecimentos fazendo uso de instrumentos apropriados para a coleta de dados que possibilitem desenvolver asserções a esse respeito.

Estudos semelhantes foram conduzidos por outros participantes do Núcleo de Pesquisa em Educação em Ciências<sup>6</sup>. Esses trabalhos consistiram no desenvolvimento, aplicação e análise de estratégias de ensino fundamentadas em modelagem, as quais apresentaram grandes contribuições para o desenvolvimento das idéias dos estudantes em relação a conceitos bastante abstratos e sobre os quais têm sido relatadas diversas dificuldades de aprendizagem (energia envolvida nas transformações químicas (Souza, 2007) e ligação iônica (Mendonça, & Justi, 2009b)). Ambos os trabalhos apresentam especial contribuição por permitirem o acompanhamento do processo vivenciado pelo estudante, registrando *como* seu conhecimento evoluiu ao longo dos processos de ensino.

O foco destes estudos tem sido o conteúdo aprendido pelos estudantes, não sendo avaliado o desenvolvimento de habilidades durante tais processos, o que tende a limitar a compreensão da influência de atividades de modelagem nesse sentido. Poucos estudos têm apresentado uma análise em termos de habilidades dos estudantes, sejam cognitivas ou metacognitivas. Dentre eles, destacamos os desenvolvidos por Schwarz e White (2005) e Lopes e Costa (2007), que serão abordados nas próximas seções do presente trabalho.

### **Habilidades metacognitivas e modelagem**

É parte da cognição humana a capacidade de adquirir habilidades mediante instrução e prática. Diversos trabalhos que abordam a aquisição de habilidades têm focado em aspectos para os quais o desenvolvimento dessas contribuem, como: aumento da rapidez na resolução

---

<sup>6</sup> Grupo de pesquisa coordenado pela professora Rosária Justi no Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais.

de tarefas, redução de erros e, principalmente, a própria capacidade de flexibilizar determinada habilidade, aplicando-a em novos problemas, diferentes daqueles conhecidos pela pessoa (Anderson, 1982).

Em Ciências, conforme previamente discutido, defende-se o desenvolvimento de habilidades associadas ao próprio processo de elaboração e desenvolvimento do conhecimento científico. O desenvolvimento do conhecimento sobre a condução e os princípios dos processos em Ciências requer a capacidade de analisar situações problema e decidir sobre a condução do processo. Para o desenvolvimento de habilidades associadas aos processos da Ciência é necessário, em um contexto de ensino, que o estudante seja inserido em situações em que ele seja sujeito ativo do processo de aprendizagem, sendo convidado a pensar sobre quando e como aplicar determinados conhecimentos. Nesses dois contextos, conhecimento do processo ou desenvolvimento de habilidades, percebe-se a necessidade da auto-regulação do processo de aprendizagem pelo indivíduo, o qual deverá refletir sobre suas próprias ações. Esta auto-regulação está associada à metacognição do indivíduo.

Segundo Veenman, Elshout e Meijer (1997), há uma vasta literatura indicando que habilidades metacognitivas são altamente relevantes para a resolução de problemas e para a aprendizagem. As ações do pensamento associadas à capacidade de aprender a identificar conhecimentos necessários e, em seguida, aplicá-los, correspondem às chamadas habilidades metacognitivas. Elas representam um repertório de habilidades gerais adquiridas para gerenciar a resolução de problemas e a aprendizagem (Veenman, Wilhelm, & Beishuizen, 2004).

A metacognição é mais comumente definida como a ciência e o controle sobre a própria aprendizagem (Gourgey, 1998). Flavell (1979) descreve a metacognição como a consciência sobre como se aprende, consciência de quando há ou não entendimento, conhecimento de como usar as informações obtidas para se obter resultados, habilidade de julgar o conhecimento demandado em determinada questão, conhecimento de quais estratégias usar e com quais propósitos, e habilidade de avaliar o próprio progresso tanto durante quanto depois de determinado processo. Assim, pode-se afirmar que habilidades cognitivas tornam o estudante apto a progredir – construir conhecimento – enquanto habilidades metacognitivas tornam o estudante apto a monitorar e melhorar seu progresso – avaliar e aplicar seus conhecimentos a novas situações (Gourgey, 1998).

O desenvolvimento de habilidades metacognitivas pode ajudar a constituir um efetivo método de trabalho, uma vez que essas envolvem o desenvolvimento de atividades auto-

reguladoras, como: refletir sobre a natureza do problema, prever as conseqüências de uma ação ou evento, planejar e monitorar o andamento da atividade, monitorar a compreensão, checar os resultados das ações, testar a plausibilidade, e refletir sobre a performance na aprendizagem (Veenman, Elshout, & Meijer, 1997).

Masui e Corte (1999) apresentam uma distinção entre a metacognição declarativa (conhecimento da cognição) e a componente procedimental (regulação da cognição). A primeira se relaciona ao desenvolvimento consciente do indivíduo da atividade de regulação da aprendizagem, enquanto a segunda se relaciona às ações de pensamento empregadas diretamente no processo de regulação. Ambas são apresentadas como necessárias ao estudante para que ele seja capaz de analisar criteriosamente um problema, trabalhando sistematicamente de acordo com um plano de ações, promovendo sucessivas avaliações, identificando falhas e tomando decisões conscientes de acordo com cada novo contexto. Assim, tais atividades auto-reguladoras não apenas ajudam a resolver o problema dado, mas também geram melhores contextos para a transferência de habilidades para novos problemas.

A relevância das habilidades metacognitivas no processo de aprendizagem é destacada em diversos estudos (por exemplo, Veenman & Beshuizen, 2004; Masui & Corte, 1999) na consideração do desempenho entre novatos e especialistas. Tais estudos apontam que o melhor desempenho de especialistas em uma determinada situação está associado à capacidade de julgamento que eles possuem sobre as ações a serem tomadas. Enquanto novatos tendem a tomar decisões imediatas, especialistas tendem a refletir antes de agir, fragmentando o problema em questões mais simples e, para cada uma, aplicando determinado conhecimento que se aproxime de uma vivência anterior, ponderando sobre as devidas modificações que devem ser feitas (Veenman, & Beshuizen, 2004).

White e Frederiksen (2000) relacionam as atividades investigativas ao desenvolvimento das habilidades metacognitivas considerando que os estudantes precisam saber tanto sobre a natureza e utilidade dos modelos científicos quanto sobre o processo pelo qual eles foram criados, testados e revisados. Mais especificamente, eles apontam três dimensões metacognitivas que se pretende que o estudante desenvolva: auto-conhecimento, habilidades auto-reguladoras e capacidade de melhorar sua proficiência. O auto-conhecimento se refere à consciência do estudante sobre seus próprios conhecimentos, as formas como esses conhecimentos podem ser desenvolvidos, além de quando e porque eles devem ser usados. As habilidades auto-reguladoras são aquelas envolvidas na condução dos processos de investigação, como planejar e monitorar os resultados, desenvolver estratégias para alcançar

certos resultados e avaliar o próprio progresso para analisar se o planejamento precisa ser modificado. A melhora no desempenho inclui refletir sobre os próprios conhecimentos e usar essa reflexão para determinar como ampliá-los. White e Frederiksen (2000) afirmam ainda que o desenvolvimento da metacognição é um aspecto chave para adquirir habilidades de investigação e aquelas envolvidas em aprender a aprender.

O desenvolvimento do conhecimento do processo de construir modelos e, conseqüentemente, dos modelos em si, que leva à compreensão do “fazer Ciência” está associado de forma intrínseca ao metaconhecimento (ou desenvolvimento de habilidades metacognitivas). Neste trabalho, metaconhecimento em modelagem refere-se a saber como esse processo se desenvolve, saber as etapas que o compõem e como executá-las, e, ainda, saber como a modelagem se relaciona ao processo de construção da Ciência, seu papel e seus princípios.

Enquanto muitos estudos (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Justi & Gilbert, 2003; Schwarz & White, 2005) apontam a necessidade de um ensino centrado em atividades de criar e revisar modelos a fim de promover um metaconhecimento sobre modelos e modelagem (ou seja, um entendimento sobre a natureza dos modelos e dos processos de modelagem), poucos são os estudos que avaliam como e em que extensão este conhecimento se desenvolve a partir dessas atividades (Sins *et. al*, 2009).

Smith, Snir e Grosslight (1992) desenvolveram um trabalho em que 22 estudantes americanos das séries 6 e 7 participaram de atividades envolvendo conceitos de peso e densidade, nas quais eles usaram um programa computacional envolvendo modelos e simulações. Os dados foram coletados por meio de pré e pós-entrevistas e, em relação aos conceitos, os autores destacaram que os estudantes apresentaram bom desenvolvimento de seus conhecimentos. Contudo, os autores apontaram que não foi possível observar progressos das idéias dos estudantes sobre a natureza dos modelos a partir do processo empregado. Isto pode indicar que a inserção de estudantes em atividades de modelagem sem a promoção de um enfoque especial no processo e no relacionamento deste ao processo de construção do conhecimento pode não contribuir efetivamente para a promoção de metaconhecimentos sobre esse processo. Outra hipótese sobre o resultado encontrado por Smith *et. al* (1992) está associada à limitação da avaliação do desenvolvimento do conhecimento sobre o processo de modelagem, uma vez que a análise realizada não considerou o *processo* desenvolvido pelos estudantes, suas ações e idéias em cada etapa, limitando-se à comparação das respostas dos estudantes nas pré e pós-entrevistas.

Schwarz e White (2005) conduziram um trabalho em analisaram o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes americanos sobre o processo de modelagem em si, o que foi denominado pelos autores como *metamodelagem*. Neste estudo, quatro turmas da série 7 foram acompanhadas durante o desenvolvimento de um currículo denominado *Model-Enhanced ThinkerTools (METT) Curriculum*, que consistiu no desenvolvimento de atividades investigativas em física com o uso de programas de computador que permitiam a construção de modelos para força e movimento. Durante a condução das atividades, eles receberam instruções explícitas sobre a natureza dos modelos e o processo de modelagem, além de serem motivados a discutir essas idéias. A análise foi realizada a partir de pré e pós-teste, além de entrevistas com um número restrito de estudantes a fim de validar os dados escritos. Os resultados deste trabalho apontam um significativo desenvolvimento das idéias dos estudantes sobre modelos e modelagem. Contudo, este trabalho não discute *como* e *quais* habilidades metacognitivas foram empregadas ou desenvolvidas ao longo do processo e, além disso, a análise apresentada não evidencia em que medida as idéias dos estudantes foram expressas e/ou desenvolvidas a partir do engajamento nas atividades de ensino ou a partir das instruções explícitas apresentadas ao longo do processo. Isto dificulta, inclusive, inferir quais idéias dos estudantes resultaram do desenvolvimento de habilidades do pensamento científico ou quais correspondiam a conhecimentos declarativos. Nossa dúvida é reforçada por uma análise das questões direcionadas aos estudantes, tanto nos questionários quanto nas entrevistas, como: “O que é um modelo?”, “Modelos representam a absoluta realidade?”, “Um cientista pode alterar um modelo?”, “Quais os critérios empregados para avaliar um modelo?”. Tais questões aparecem deslocadas de um contexto de aplicação do conhecimento (um contexto que envolva *construir modelos*), podendo implicar apenas na reprodução de um conhecimento declarativo. Ao longo das atividades, os estudantes foram instruídos sobre as etapas que compõem um processo de investigação (conforme a figura 1) e, ao final do processo, eles foram solicitados a explicar um processo de investigação a partir das etapas apresentadas naquela figura. Desta forma, outra crítica que pode ser direcionada a este trabalho é que não se pode determinar em que medida os estudantes realmente compreenderam e reconheceram as etapas envolvidas com o processo de construção de modelos, uma vez que eles podem ter-se limitado a reproduzir as etapas presentes na figura. Esta crítica está de acordo com o as idéias de Sins *et. al* (2009), que apontam a necessidade do desenvolvimento de avaliações legítimas, com questões situadas em problemas concretos, a

fim de explicitar aspectos epistemológicos do envolvimento do estudante em atividades de modelagem.

Outro trabalho que aborda o conhecimento dos estudantes especificamente sobre modelagem foi desenvolvido por Schwarz *et. al* (2009). Os autores desenvolveram um modelo de níveis de progressão de aprendizagem sobre modelos e modelagem que, segundo eles, apresenta conhecimentos que podem se tornar acessíveis e significativos aos estudantes. Estes autores consideram que a modelagem apresenta elementos da prática (construir, usar, avaliar e revisar modelos científicos

Nível	Desempenho
4	Estudantes constroem e usam modelos espontaneamente em uma gama de domínios para ajudar seu próprio pensamento. Estudantes consideram como o mundo pode se comportar, de acordo com vários modelos. Eles constroem e usam modelos para elaborar novas questões sobre o comportamento ou a existência de um fenômeno.
3	Estudantes constroem e usam múltiplos modelos para explicar e prever mais aspectos de um grupo de fenômenos relacionados. Estudantes vêem os modelos como ferramentas que podem sustentar suas idéias sobre fenômenos existentes e novos. Eles consideram alternativas para construir modelos baseados na análise de diferentes vantagens e fraquezas para explicar e prever que modelos alternativos possuem.
2	Estudantes constroem e usam um modelo para ilustrar e explicar como um fenômeno ocorre, de modo consistente com a evidência sobre o fenômeno. Estudantes vêem modelos como uma forma de comunicar seu entendimento sobre um fenômeno e não como uma ferramenta para sustentar seu próprio pensamento.
1	Estudantes constroem e usam modelos que mostram cópias literais de um fenômeno singular. Estudantes não vêem um modelo como uma ferramenta para gerar novos conhecimentos, mas sim como uma forma para mostrar aos outros como o fenômeno parece.

Tabela 2. Uma progressão de aprendizagem para o entendimento de modelos como ferramentas geradoras para prever e explicar (Schwarz *et. al*, 2009, p. 640).

Nível	Desempenho
4	<p>Estudantes consideram mudanças em modelos para aumentar o poder explicativo antes de obter evidências que sustentem tais mudanças. As mudanças dos modelos são consideradas para desenvolver questões que podem ser testadas contra evidências do fenômeno.</p> <p>Estudantes avaliam modelos que competem entre si considerando a combinação de aspectos dos modelos que podem aumentar os poderes de previsão e de explicação.</p>
3	<p>Estudantes revisam os modelos para melhor ajustar as evidências obtidas e para ampliar a articulação de um mecanismo no modelo. Assim, modelos são revisados para aumentar seu poder de explicação.</p> <p>Estudantes comparam modelos para ver como diferentes componentes ou relacionamentos evidenciam mais completamente e proporcionam uma explicação mais relacionada ao mecanismo do fenômeno.</p>
2	<p>Estudantes revêem modelos baseados nas informações de autoridades (professor, livro didático, colega), ao invés de considerar evidências coletadas do fenômeno ou novos mecanismos de explicação.</p> <p>Estudantes fazem modificações para melhorar detalhes, clarear ou adicionar novas informações, sem considerar como o poder de explicação do modelo ou seu ajuste a evidências empíricas é ampliado.</p>
1	<p>Estudantes não esperam que modelos mudem com novos entendimentos. Eles falam de modelos em termos absolutos de respostas certas ou erradas.</p> <p>Estudantes comparam seus modelos para avaliar se eles são réplicas boas ou ruins do fenômeno.</p>

Tabela 3. Uma progressão de aprendizagem para o entendimento de modelos como entidades que podem ser mudadas (Schwarz *et. al*, 2009, p. 647).

Dessa forma, o trabalho de Schwarz *et. al* (2009) aponta critérios para analisar o conhecimento dos estudantes sobre modelos e modelagem, o que pode ser reconhecido como uma significativa contribuição em termos de se destacar a importância desse conhecimento e da construção de parâmetros de avaliação do mesmo. Contudo, o trabalho apresentado destaca apenas alguns exemplos de como esses os níveis apresentados nas tabelas 2 e 3 foram identificados no processo vivenciado por alguns estudantes em sala de aula, não sendo focado o processo em que esses conhecimentos se desenvolveram. Além disso, acreditamos que devemos destacar também outros metacconhecimentos associados ao processo de modelagem, como reconhecer o papel e o status da construção de modelos na Ciência e conhecer os principais ações e atributos relacionados ao processo de modelagem.

Assim, o presente trabalho reconhece a necessidade de avaliar em que extensão as atividades de modelagem contribuem para a compreensão sobre este processo em si, seu status na construção da Ciência e sobre modelos, o que se justifica pela relevância do

desenvolvimento do conhecimento em modelagem pelos estudantes, conforme anteriormente destacado.

### **A avaliação de habilidades em modelagem**

À medida que as diretrizes para um ensino de Ciências têm mudado o foco da aprendizagem de conteúdo para a de processos e, com isso, para o desenvolvimento de habilidades, faz-se necessário o desenvolvimento de novas formas de avaliação. Esta coerência entre os conhecimentos desenvolvidos e o processo de avaliação é explicitada em um contexto geral da educação por Millar e Osborne (1998):

*“(...) o sistema de avaliação deve encorajar o desenvolvimento de habilidades e capacidades que serão requeridas para o futuro trabalhador do século 21. Isto é, no lugar da ênfase na repetição de ‘fatos’ específicos, detalhados e não-relacionados, qualquer novo trabalho deve dar maior peso à avaliação de um entendimento holístico da maioria das idéias científicas e a um entendimento crítico da Ciência e do raciocínio científico. Mais atenção deve ser devotada à avaliação das habilidades e competências que são requeridas na vida adulta, tanto no trabalho quanto para a aprendizagem ao longo da vida – isto é, a habilidade de ler e assimilar as informações técnicas e científicas e avaliar seus significados.” (Millar, & Osborne, 1998, p. 25)*

Esta preocupação com o desenvolvimento de habilidades não tem apenas integrado os documentos que apresentam diretrizes para o ensino de Ciências, mas já levou a ações efetivas em termos de avaliar o desenvolvimento dessas habilidades no ensino. Isto pode ser observado pela presença, em exames de massa de todo o mundo, de questões que objetivam avaliar habilidades. Por exemplo, o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), no Brasil, o Programme for International Student Achievement (PISA), atualmente aplicado em 65 países, o Third International Mathematics and Science Study (TIMSS), com 48 países participantes e o National Assessment of Educational Progress (NAEP), aplicado nos Estados Unidos<sup>7</sup>, têm apresentado crescente preocupação em avaliar o alcance do ensino no desenvolvimento de habilidades, aspecto retratado tanto pela análise das questões das avaliações como nos relatórios que as acompanham (Maia, & Justi, 2008). Essas avaliações, apesar de desenvolvidas em anos e em países diferentes, se aproximam em relação aos objetivos avaliados para o ensino de Ciências, com especial atenção para o desenvolvimento de habilidades associadas ao processo de investigação científica.

---

<sup>7</sup> O número de países participantes em cada exame se refere ao último ano de aplicação dessas avaliações, respectivamente: 2009, 2009, 2007 e 2008.

Os relatórios sobre essas avaliações em massa afirmam consonância com as atuais perspectivas para o ensino de Ciências e explicitam que elas procuram avaliar, além de conhecimentos declarativos, as habilidades desenvolvidas pelos estudantes ao longo do processo de aprendizagem. Por exemplo, o documento *Overview*, do NAEP, explicita que:

*“Uma nova diretriz para guiar a avaliação no ensino de Ciências é necessária por várias razões: a publicação de padrões nacionais para a alfabetização científica, avanços na pesquisa científica e cognitiva, crescimento na avaliação em ciências tanto em contexto nacional quanto internacional, e aumento ao acesso a avaliações inovadoras.”* (National Center for Education Statistics, 1997, p. 6)

Apesar disso, alguns dos relatórios que acompanham tais avaliações trazem os objetivos de ensino avaliados de maneira bastante genérica e superficial em relação às habilidades que se pretende avaliar, como ocorre no relatório do NAEP (2006), que apresenta apenas quatro habilidades gerais avaliadas nas questões de Ciências do exame – identificação dos princípios da Ciência, uso dos princípios da Ciência, uso da investigação científica, uso de desenho tecnológico – ou, ainda, o PISA, que até o exame de 2003 discriminava apenas *“habilidades gerais de raciocínio”* (Organization for Economic Co-operation and development (OECD), 2004), associadas à resolução de problemas em geral, não discriminando quais habilidades estariam especificamente relacionadas ao conhecimento que se pretendia avaliar em Ciências.

Uma versão mais nova dos documentos que acompanham o exame do PISA relaciona competências associadas à investigação científica:

*“Identificação dos objetos da Ciência:*

- *Reconhecer os objetos que podem ser investigados cientificamente.*
- *Identificar palavras chaves para procurar informações científicas.*
- *Reconhecer os aspectos chaves de uma investigação científica.*

*Explicar fenômenos cientificamente:*

- *Aplicar conhecimentos da Ciência em uma dada situação.*
- *Descrever ou interpretar fenômenos cientificamente e prever mudanças.*
- *Identificar descrições apropriadas, explicações e previsões.*

*Usar evidências científicas:*

- *Interpretar evidências científicas, elaborar e comunicar conclusões.*
- *Identificar as assertivas, evidências e raciocínios por trás das conclusões.*
- *Refletir sobre as implicações sociais do desenvolvimento da Ciência e da tecnologia.”* (OECD, 2006, p. 29)

Estas competências evidenciam claramente que se espera que os estudantes desenvolvam conhecimentos adequados sobre o processo de investigação em Ciências. Contudo, as descrições *“reconhecer os aspectos chaves de uma investigação científica”* e *“aplicar conhecimentos da Ciência em uma dada situação”* são insuficientes para se

caracterizar o que é efetivamente avaliado, uma vez que não evidenciam *quais aspectos chaves* ou *quais conhecimentos* são esperados que os estudantes desenvolvam.

Da mesma forma que o PISA, atualmente o ENEM apresenta com maior clareza as habilidades e competências avaliadas, o que se deve à atual matriz desta avaliação, datada de 2009. Em versão anterior, o ENEM (Brasil, 1998) explicitava vinte e uma habilidades que o exame buscava avaliar, mas que eram apresentadas independentes dos conteúdos e/ou áreas de conhecimento. Isto implicava em uma dificuldade de identificar as habilidades que se esperava que o ensino em Ciências ajudasse a desenvolver. As habilidades apresentadas pelos documentos do ENEM eram associadas ao desenvolvimento de cinco competências mais gerais. A partir do exposto por C. Gomes (2005), essas competências podem ser brevemente apresentadas como as capacidades de: operar mentalmente sobre diferentes linguagens humanas; elaborar e aplicar conceitos para a compreensão dos fenômenos; interpretar e solucionar um problema e tomar decisões; identificar, analisar e construir argumentos lógicos; propor intervenções sobre a realidade, articulando teoria à prática. Todavia, C. Gomes (2005) conclui em seu trabalho que nenhuma dessas competências, previamente postuladas pelos documentos do ENEM, foram verificadas na avaliação analisada.

Na matriz elaborada para o ENEM 2009 (Brasil, 2009) é explícita a preocupação em se definir quais competências são avaliadas de acordo com cada área de conhecimento. Para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias são apresentadas oito competências, sendo cinco delas relacionadas a quaisquer disciplinas da área e as três restantes específicas para cada uma das disciplinas (Química, Física e Biologia). A cada competência se relaciona um grupo de habilidades, conforme apresentado no Anexo 1.

Esta matriz do ENEM 2009 apresenta um detalhamento das habilidades a serem avaliadas junto aos estudantes na área de Ciências, relacionando-as aos conhecimentos específicos da área e, em especial, aos aspectos sociais, tecnológicos, econômicos e ambientais que fazem parte do contexto dos estudantes. É possível considerar tal detalhamento como um progresso no que tange ao desenvolvimento da avaliação, pois conforme apresentado por C. Gomes (2005),

*“...um sistema de avaliação não é capaz de mensurar modalidades estruturais da inteligência sem possuir, explícita ou implicitamente, um modelo de inteligência, dos componentes dessa inteligência, e do que se espera encontrar nesses estudantes.”* (C. Gomes, 2005, p. 29)

Entretanto, este detalhamento associado a conteúdos e/ou conhecimentos específicos pode levar a não englobar uma série de situações que demandam outros conhecimentos, dada a

diversidade de situações e contextos que demandam a ação do indivíduo em sua vida real. À luz de uma discussão baseada no desenvolvimento de atividades investigativas no ensino de Ciências, faz-se necessário avaliar em que medida esta matriz proposta contempla as habilidades relacionadas a tais atividades.

Nas descrições das habilidades apresentadas observa-se: a identificação de propriedades de sistemas, a seleção de conhecimentos pertinentes, a análise e avaliação de processos e sistemas, desde que tenham correlação com o contexto real de vida do indivíduo, as quais configuram habilidades importantes para o desenvolvimento de um processo de investigação. Em especial, a habilidade *H19* e as competências das áreas 6, 7 e 8 apresentam as habilidades associadas à identificação e aplicação de princípios e métodos da Ciência, as quais contemplam o processo de investigação desenvolvido em Ciências, apesar de fazê-lo de forma implícita. Por outro lado, não fica claro nessa matriz se habilidades associadas ao processo de criação, como formulação de hipóteses e elaboração de modelos, serão avaliadas.

Mesmo com maior explicitação das habilidades avaliadas pelo PISA e pelo ENEM, seria esperado que estas se referissem de forma mais explícita às habilidades envolvidas no processo de investigação científica, uma vez que isto seria uma prática coerente com a atual perspectiva para o ensino de Ciências.

Assim, uma vez que as habilidades básicas relacionadas ao processo de investigação em Ciências perpassam de forma pouco clara as páginas dos documentos que acompanham as avaliações em massa, torna-se difícil inferir sobre *quais* as habilidades associadas ao processo de investigação científica se pretende avaliar.

No contexto deste trabalho, consideramos que a identificação das habilidades envolvidas nas atividades de investigação em Ciências é necessária para o delineamento de avaliações coerentes com o processo de ensino, uma vez que os instrumentos elaborados devem permitir explicitar o domínio dessas (Fairbrother, 1989).

A necessidade de criar contextos em que o estudante possa aplicar determinadas habilidades, a fim de possibilitar a avaliação das mesmas, tem sido consenso entre muitos educadores, como apontam os estudos de Perrenoud (1999) e C. Gomes (2005). Diversas teorias de aquisição de habilidades indicam que a prática contribui para o desempenho na resolução de problemas tanto por favorecer mudanças qualitativas nos esquemas previamente incorporados, como por aumentar a eficiência na seqüência de etapas envolvidas na resolução de problemas específicos (Haider & Frensch, 1996).

Nesse sentido, as avaliações em massa previamente citadas apresentam-se bastante limitadas, como apontam C. Gomes (2005) e Maia e Justi (2008). Apesar de tais avaliações terem apresentado questões de resolução de problemas solicitando respostas abertas, elas ainda estão distantes de mensurar com eficiência as habilidades desenvolvidas pelos estudantes, sendo que muitas vezes as questões não exigem, necessariamente, que os estudantes empreguem as habilidades científicas que se deseja promover no ensino, podendo ser respondidas com conhecimento declarativo de conteúdos.

Mesmo reconhecendo que essas avaliações estão buscando coerência com os novos propósitos do ensino de Ciências, seus propósitos se relaciona a objetivos diferentes das avaliações empregadas para a aprendizagem (isto é, avaliações que compõem o processo regular de ensino), estando voltadas a um diagnóstico do sistema de ensino desenvolvido por segmentos maiores (escolas, estados e países). Desta maneira, essas avaliações são aqui citadas apenas como referencial de processos descritos para a avaliação de habilidades, não sendo possível considerá-las como avaliações para a aprendizagem – isto é, avaliações capazes de fornecer *feedback* sobre o processo de ensino e aprendizagem, direcionando professor e estudantes no desenvolvimento da auto-regulação, ou seja, aos aspectos metacognitivos do processo. Assim, em um contexto normal de ensino, a avaliação de habilidades deve constituir-se como um processo voltado ao direcionamento específico das atividades e processos desenvolvidos em sala de aula (Black, Harrison, Lee, Marshall, & Wiliam, 2003).

Uma avaliação pode ajudar a aprendizagem se ela fornece informações que possam ser usadas como *feedback* pelos professores e pelos estudantes para avaliar a si mesmos e um ao outro, para modificar as atividades de ensino nas quais estão engajados, sendo embutida em todos os aspectos de ensino e aprendizagem. A avaliação processual ao longo do ensino que serve a estes propósitos é chamada de *avaliação formativa* (Black *et al.*, 2003). A avaliação formativa deve ocorrer em vários momentos, em todas as lições, e deve envolver métodos diferentes para encorajar os estudantes a expressar o que eles estão pensando, assim como os vários diferentes caminhos de atuar nessas evidências.

Em relação à avaliação do conhecimento em modelagem e das habilidades associadas a esse processo, poucos estudos têm sido realizados. Um desses estudos foi aquele desenvolvido por Schwarz e White (2005), brevemente descrito anteriormente. Nele, a avaliação do conhecimento em modelagem se deu a partir da aplicação de um questionário ao final do desenvolvimento de algumas atividades de modelagem, o qual tinha o intuito de avaliar o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes em relação a modelos e

modelagem sob um aspecto geral, exigindo conhecimentos sobre as propriedades e a natureza dos mesmos. Tal questionário era composto por questões abertas, envolvendo perguntas de respostas diretas (que exigiam um conhecimento declarativo sobre o assunto), questões de resolução de problemas (em que os alunos eram convidados a testar ou construir um determinado modelo) e questões envolvendo análise e crítica de afirmativas sobre o tema.

Apesar da reconhecida relevância do trabalho desenvolvido, deve-se considerar que o instrumento avaliativo nele utilizado serve apenas ao propósito da pesquisa em questão, não fornecendo dados a respeito do *processo* de desenvolvimento desse conhecimento, uma vez que o questionário foi aplicado em único momento, ao final do processo. Além disso, o questionário é passível de críticas em relação à falta de contextualização de muitas questões e do excesso de exigência de conhecimento declarativo sobre o tema. Outro aspecto que deve ser mencionado é que o processo de ensino desenvolvido na pesquisa de Schwarz e White (2005) envolveu a instrução explícita sobre características dos modelos e de modelagem, não sendo o conhecimento desenvolvido pelos alunos fruto apenas da vivência do processo de modelagem, como aconteceu em nosso trabalho.

Mais recentemente, Schwarz *et. al* (2009) desenvolveram um trabalho que propôs níveis para avaliar a progressão do conhecimento dos estudantes em modelagem, conforme apresentado nas tabelas 2 e 3. A partir dos níveis de progressão propostos neste trabalho, é possível identificar em que medida os estudantes apresentam um conhecimento adequado (segundo parâmetros traçados pelos autores) sobre as características dos modelos (como o caráter limitado desses, a possibilidade de usar mais de um modelo para explicar um determinado fenômeno, a possibilidade de se alterar um modelo) e os papéis da modelagem e dos modelos como ferramentas para elaborar previsões e explicações. A identificação do nível em que se encontra o pensamento do estudante é realizada por meio da análise do modelo elaborado por ele, de forma que não são apreciados os elementos do processo que podem contribuir para o desenvolvimento do conhecimento em modelagem. Além disso, a avaliação do conhecimento é realizada pela avaliação do desempenho dos estudantes, o que é diferente de se avaliar a competência deles naquele processo. Em relação a isso, conforme exposto por C. Gomes (2005):

*“na melhor das hipóteses, através do desempenho em diversos contextos, tarefas e demandas, pode-se inferir sobre as condições em que se encontram as competências cognitivas de uma pessoa.” (C. Gomes, 2005, p. 27).*

Ainda, em Schwarz *et. al* (2009), são avaliados os aspectos destacados *sobre* o conhecimento em modelagem, mas não o próprio desenvolvimento deste processo.

Outro estudo realizado nesta área foi desenvolvido por Lopes e Costa (2007), cujos principais objetivos são apresentados como:

*“... estudar os métodos de avaliação que podem ajudar professores a avaliar as competências em modelagem que são desenvolvidas pelos seus estudantes.” e “...identificar os potenciais e as limitações no desenvolvimento das competências de modelagem que devem ser levadas em conta no ensino e aprendizagem de Ciências.”* (Lopes, & Costa, 2007, p. 812)

Este trabalho apresenta explicitamente três dimensões das competências de modelagem que ele analisa nos testes, relacionadas com ‘o modo de considerar’, ‘a atribuição de significados’ e ‘a conceituação e trabalho operativo’ relativos à modelagem. A cada dimensão foram associadas descrições que identificam em qual etapa no processo de modelagem essas dimensões estão presentes e, ainda, uma breve definição operacional, que remete às ações que estão associadas a cada etapa e dimensão da modelagem. Por exemplo, as competências da dimensão ‘modo de considerar’ estão associadas às seguintes definições operacionais:

*“analisar a adequação do uso de certas propriedades ou relações dos conceitos às condições experimentais específicas, assim como à existência ou ausência de condições de raciocínio; verificar, pelo tipo de resposta e os modos de explicar certas condições de raciocínios, se a situação foi analisada cuidadosamente, se a primeira resposta foi uma tentativa e se uma fórmula foi usada imediatamente.”* (Lopes, & Costa, 2007, p. 817)

As descrições operacionais apresentadas se aproximam da caracterização de habilidades, conforme assumido no presente trabalho, o que permite afirmar que a avaliação da competência de modelagem foi realizada a partir da análise de uma série de habilidades associadas a esse processo.

Contudo, este estudo, de maneira semelhante àquele de Schwarz e White (2005), envolve a aplicação de um único teste, não permitindo o acompanhamento do processo de desenvolvimento do conhecimento dos estudantes. Além disso, o foco do teste está em um conteúdo específico, não sendo possível, a partir das questões elaboradas, avaliar (i) o conhecimento de modelos e modelagem sob um aspecto mais amplo (envolvendo características gerais sobre a natureza e propriedade dos modelos e do processo de modelagem) e (ii) as relações que os estudantes estabeleceram entre a atividade em que eles estiveram envolvidos e o processo de construção da Ciência.

Tal cenário caracterizado por poucos estudos específicos na área justifica a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que contemplem as habilidades cognitivas e metacognitivas desenvolvidas e/ou aplicadas pelos estudantes em atividades de modelagem no ensino de Ciências, promovendo a elaboração de metodologias eficientes na avaliação desses conhecimentos. Para isto, acreditamos que tais pesquisas devem envolver oportunidades para os estudantes explicitarem suas idéias o mais detalhadamente possível a partir de problemas nos quais eles devem aplicar e explicitar o conhecimento que está sendo requerido. As atividades de ensino empregadas devem ser contextualizadas – exigindo um conhecimento estratégico, e não apenas declarativo –, para que as respostas a essas evoquem, necessariamente, a aplicação de habilidades. Além disso, essas devem apresentar exigências coerentes com o que se deseja avaliar, ou seja, os objetivos da avaliação devem estar de acordo com os objetivos planejados para o ensino.

Não defendemos aqui o uso de processos que estejam desvinculados de conteúdos específicos, mesmo porque o processo de modelagem é desenvolvido a partir de problemas específicos e a performance dos estudantes depende de seus conhecimentos prévios. Além disso, conforme explicitado por Zohar e Nemet (2002), a avaliação das habilidades do pensamento científico não deve ocorrer desvinculada do contexto da Ciência. Ao contrário, o raciocínio científico deve ser sempre profundamente associado a conceitos específicos ou mesmo temas mais amplos, uma vez que a manifestação de certa habilidade em um processo está associada à capacidade de o indivíduo executar determinadas ações, o que se relaciona diretamente ao corpo de seus conhecimentos prévios. Em outras palavras, o raciocínio científico depende também do conhecimento conceitual prévio como pré-requisito para que, a partir deste, o estudante use sua criatividade e seja capaz de resolver o problema ao qual está sendo apresentado (Brook *et al.*, 1989).

Além desses aspectos, uma avaliação das habilidades dos estudantes deve ocorrer em atividades e momentos diversos ao longo do processo de aprendizagem, envolvendo contextos que permitam aos estudantes transferir um conhecimento e/ou habilidade para novas situações problema. Nesta perspectiva, avaliar o desenvolvimento do conhecimento do estudante não pode se limitar à ação de avaliar o resultado final de um processo. Assumindo que a aprendizagem de habilidades está associada à capacidade de mobilização e aplicação prática de determinados conhecimentos, julgamos necessária a elaboração de mecanismos que viabilizem a identificação e avaliação dessas habilidades durante o processo.

Assim, pensando-se em avaliar o processo de modelagem vivenciado pelo estudante e, desta forma, sua competência no desenvolvimento deste processo, é relevante, neste momento, considerar o exposto por C. Gomes (2005) de que *“as competências tornam-se possíveis de mensuração através do saber-fazer escolar, presente nas habilidades”* (C. Gomes, 2005, p.25).

Considerando esses últimos aspectos enfocados, a relevância do desenvolvimento de habilidades associadas à investigação científica e o potencial das atividades de modelagem para a aprendizagem, o presente trabalho tem por objetivo analisar um processo de ensino baseado no uso de atividades de modelagem a fim de identificar, acompanhar e avaliar as habilidades cognitivas e metacognitivas empregadas e/ou desenvolvidas pelos estudantes durante tais atividades.

## OBJETIVOS E METODOLOGIA DA PESQUISA

### Objetivos

Reconhecida a relevância de se trabalhar no ensino com atividades baseadas em modelagem, uma questão que se desenvolve paralelamente é “*como avaliar o conhecimento sobre modelagem?*”. Além de esta questão ser foco de apenas poucos estudos isolados (por exemplo, Schwarz, & White, 2005; Lopes, & Costa, 2007; Schwarz *et. al*, 2009), o que se justifica até pela pouca prática de modelagem em sala de aula, tais estudos, como comentado anteriormente, não têm apresentado propostas que permitam avaliar de maneira completa e coerente este tipo de aprendizagem.

Nesse contexto, esta pesquisa tem dois objetivos principais em torno do processo de avaliação da aprendizagem dos estudantes sobre modelagem:

1. analisar as habilidades cognitivas empregadas e/ou desenvolvidas pelos estudantes a partir da participação em atividades de ensino envolvendo modelagem;
2. analisar o desenvolvimento do metaconhecimento sobre modelagem, chamado de metamodelagem (Schwarz, & White, 2005), a partir das mesmas atividades de ensino.

Para atender a estes objetivos, esta pesquisa visa responder às seguintes questões:

1. Quais habilidades cognitivas são empregadas e/ou desenvolvidas por estudantes do ensino médio ao longo de atividades de ensino de química baseadas em modelagem?
2. Como as atividades de modelagem contribuem para o conhecimento de estudantes do ensino médio sobre a própria modelagem e seu papel na Ciência?

O desenvolvimento desta pesquisa buscou responder ambas as questões de maneira concomitante, ou seja, os dois aspectos foram investigados dentro de um mesmo contexto de ensino. Contudo, os dados e a análise dos mesmos foram distintos para cada uma delas, conforme explicitado no capítulo seguinte.

## **Metodologia de coleta de dados**

### ***A amostra e o contexto da pesquisa***

Os dados foram coletados em um contexto regular de ensino de química, em uma turma da segunda série do ensino médio de uma escola pública federal de Belo Horizonte, constituída por 32 estudantes (15-17 anos). Os estudantes trabalhavam habitualmente em grupos fixos de 5 a 6 componentes e ainda não haviam participado de atividades de modelagem quando a coleta de dados se iniciou. A seleção da turma se justificou pelo fato de a professora de química apresentar grande experiência na condução de atividades de modelagem e habitualmente desenvolvê-las em suas aulas. Além disso, a professora havia programado o desenvolvimento de várias atividades de modelagem ao longo do ano, que estariam de acordo com o programa de conteúdos desenvolvido pela escola para aquela série. Dessas atividades, apenas uma foi desenvolvida para o contexto dessa pesquisa; as demais foram desenvolvidas e avaliadas em pesquisas prévias (Mendonça, 2008; Carvalho, Queiroz, Justi, & Bastos, 2006; Souza, 2007), realizadas no Núcleo de Pesquisa em Ensino de Ciências.

Outro aspecto importante para a seleção da turma que participou da pesquisa foi o fato de, pelo colégio ser parte de uma universidade, os estudantes serem bastante acostumados com os processos envolvidos em uma pesquisa deste tipo, com filmagem das aulas e presença de um pesquisador executando tal filmagem. Por isso consideramos que houve menor interferência desses elementos sobre o processo de ensino-aprendizagem que se desenvolveu naquele contexto.

Os dados foram coletados em todas as aulas de química ao longo de sete meses do ano letivo, excetuando-se as aulas direcionadas à resolução de atividades avaliativas, desenvolvimento de projetos de feira de cultura ou atividades extra-curriculares que não englobavam conteúdos de química. Mesmo as aulas em que não eram desenvolvidas atividades de modelagem, como aulas de resolução de exercícios ou relacionadas a outros conteúdos (como cinética química e cálculos termoquímicos) foram acompanhadas com o propósito de permitir maior conhecimento da turma, auxiliando na seleção dos estudantes para as entrevistas. Dentro deste período, os estudantes foram envolvidos em cinco atividades de modelagem, com os temas: “Por que a cola cola?”<sup>8</sup>, “Modelo para ligação iônica”, “Modelo

---

<sup>8</sup> Esta estratégia de ensino foi a única que não havia sido utilizada com estudantes de ensino médio. Anteriormente a esta pesquisa, ela havia sido utilizada somente em projetos de formação continuada de

para interações intermoleculares”, “Modelo para ligação metálica” e “Energia envolvida nas reações químicas”.

Nessas atividades de ensino, os estudantes trabalharam elaborando seus modelos em grupos, conforme solicitado nas atividades, respondendo questões em atividades escritas e apresentando oralmente seus modelos e idéias.

Para o contexto desta pesquisa, das cinco estratégias de ensino, três foram selecionadas para constituir o objeto de análise e para fundamentar as entrevistas ao longo do processo. A escolha das três estratégias de modelagem se justificou pelos seguintes motivos: a primeira delas – *Por que a cola cola?* – foi introduzida por ser a primeira atividade de modelagem em que os alunos estiveram envolvidos, o que possibilitou coletar dados dos conhecimentos iniciais dos estudantes, viabilizando comparações futuras; as outras duas estratégias – *Modelo para ligação iônica* e *Modelo para interações intermoleculares* – foram selecionadas por terem envolvido processos mais longos de construção de conhecimento, com maior número de questões e participação mais efetiva da turma em cada uma delas.

### ***Dados coletados***

Com o propósito de permitir o acompanhamento das idéias e habilidades dos estudantes em todos os momentos do ensino, foram coletados dados por diversos meios: atividades escritas, registro em vídeo, notas de campo e entrevistas.

Os registros desses dados foram feitos após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG e do consentimento da direção da escola, da professora, dos alunos e de seus responsáveis, firmado através da concordância, por cada um desses indivíduos, expressa em Termos de Consentimento Livre e Esclarecido específicos (apresentados nos Anexos 2 a 5).

### ***Atividades escritas***

Os estudantes responderam questões em atividades escritas (Anexos 6 a 10) em diversos momentos do ensino, as quais faziam parte das atividades normais de ensino adotadas pela professora ou, em poucos casos, foram acrescentadas a essas atividades com o propósito de disponibilizar mais dados para esta pesquisa. As questões que foram acrescentadas tinham o propósito de elucidar as idéias e o processo vivenciado pelos estudantes durante as atividades,

---

professores. Seu propósito neste trabalho foi avaliar os conhecimentos iniciais dos estudantes sobre modelos e modelagem.

permitindo melhor acompanhamento do processo em termos das habilidades empregadas pelos estudantes e dos seus conhecimentos sobre o próprio processo de modelagem<sup>9</sup>.

As atividades desenvolvidas pelos estudantes nas três estratégias de ensino que constituem o objeto desta pesquisa são descritas abaixo com o propósito de elucidar o objetivo de cada uma delas dentro do processo de modelagem.

#### Estratégia de ensino “Por que a cola cola?”

Esta estratégia de ensino foi desenvolvida em parceria com a professora da turma, incluindo atividades que fariam parte do processo de ensino comumente empregado pela professora e questões desenvolvidas para o contexto específico da presente pesquisa. As questões propostas pela professora, presentes na Atividade 1 desta estratégia, tinham o objetivo de avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes em modelos e modelagem, com foco especial no primeiro. Tal atividade foi seguida de discussão com a turma com o propósito de elucidar algumas características de modelos. Na Atividade 2, há a solicitação de construir um modelo para um material hipotético: uma super cola para madeira e papel, que cola instantaneamente e é muito mais forte do que as colas existentes no mercado. Nesta atividade, que envolve a modelagem propriamente, os estudantes tiveram de elaborar modelos para o funcionamento da cola, levando em consideração as características do sistema (apresentadas na atividade) e seus conhecimentos prévios que poderiam ser relacionadas a tal situação (como conhecimentos sobre ligações, interações, características e funcionamento de outras colas conhecidas por eles, entre outros). O processo de construção dos modelos ocorreu nos grupos, nos quais os estudantes deveriam discutir, integrar suas idéias e propor um modelo por grupo. Durante a elaboração dos modelos, a professora acompanhou as discussões, algumas vezes questionando os estudantes (com o propósito de favorecer a reflexão dos mesmos sobre o modelo que estavam propondo) ou disponibilizando algumas informações (solicitadas pelos estudantes e/ou que a própria professora julgava relevante no momento, mas sem fornecer respostas ou modelos prontos para o sistema em estudo).

A segunda questão desta atividade consistiu na proposição, pelos estudantes, das etapas que eles perceberam ter vivenciado ao longo da elaboração dos modelos.

---

<sup>9</sup> As questões elaboradas com o propósito voltado a esta pesquisa foram identificadas nos Anexos com um asterisco (\*) antes da numeração.

### Estratégia de ensino para ligação iônica<sup>10</sup>

A estratégia de ensino para a elaboração de um modelo para ligação iônica se iniciou, na Atividade 1, com um experimento empírico que envolveu a queima do magnésio metálico. Neste experimento, os estudantes observaram uma intensa luz branca durante a queima do magnésio e, em seguida, verificaram a formação de um pó branco, o qual a professora informou ser o composto óxido de magnésio. Após o experimento, a atividade trouxe algumas questões para que os estudantes fossem estimulados a pensar sobre o que aconteceu com o sistema, a formação do óxido de magnésio, o papel do fogo no processo e sobre a estabilidade das substâncias envolvidas. Ainda na Atividade 1, os estudantes realizaram outro experimento, em que eles tinham que observar o que ocorria com um sistema intitulado garrafa mágica. Tal sistema era constituído de uma garrafa plástica, incolor, transparente e fechada, contendo um líquido de coloração amarela. Ao agitar a garrafa, os estudantes verificaram que o líquido assumia uma coloração azul-esverdeada. Ao deixar o sistema em repouso, o líquido retornava à coloração inicial. A partir desse sistema, a professora discutiu questões relacionadas à influência de variações energéticas na reversibilidade de reações químicas. Outras questões relativas à estabilidade e disponibilidade das substâncias na natureza, inclusive associando a fatores como temperatura e pressão, também foram discutidas.

Ampliando as discussões sobre a formação das substâncias, a professora apresentou para a turma os aspectos que devem ser observados ao se elaborar um modelo para ligação química, destacando que tal modelo deve explicar: o mecanismo da ligação (relacionando à variação da energia); a estequiometria do composto (incluindo o número de ligações presentes) e a estrutura da substância. Em seguida, a professora apresentou um modelo teórico sobre a formação de ligações conhecido como diagrama do poço de potencial (expresso em um gráfico de energia potencial em função da distância internuclear), explicando-o e enfatizando que a ligação ocorre quando há equilíbrio entre forças atrativas e repulsivas entre os átomos na ligação.

Na Atividade 2, foram apresentados, em um quadro, dados sobre energia de ionização e afinidade eletrônica de diversos elementos e, a partir de tais dados, foram propostas questões para relacionar os dados do quadro à formação e estabilidade de íons. Em especial, os estudantes tiveram de concluir, a partir dos dados, quais os íons mais estáveis formados a partir de átomos de sódio e de átomos de cloro.

---

<sup>10</sup> Maiores detalhes sobre esta estratégia podem ser encontrados em Mendonça e Justi (2009a).

Na Atividade 3, os estudantes foram solicitados a construir um modelo para a formação da ligação entre íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  a partir de uma solução aquosa desse sal. Eles foram estimulados a representar modelos para os íons em solução e, em seguida, para o sal após a evaporação de toda a água. Os estudantes poderiam utilizar quaisquer materiais que estivessem disponíveis (bolinha de isopor, massinha de modelar, palitos de madeira, desenhos, ou outro) e, em seguida, apresentá-los para os demais grupos da turma. Os estudantes ainda foram questionados sobre a interação entre esses íons, sobre o porquê da formação dessa interação e, ainda, sobre a estabilidade da substância formada comparada aos seus constituintes iniciais. Durante as apresentações, a professora questionou os estudantes com o propósito de que eles explicitassem suas idéias, deixando claras as origens de seus modelos.

Os modelos elaborados tiveram de ser retomados na Atividade 4, em que cada grupo teve de aplicar seu modelo para explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio ( $808^\circ\text{C}$ , conforme informado na atividade). Esta atividade teve o propósito de favorecer a condução de testes mentais dos modelos dos estudantes que, caso julgassem necessário, proporiam modificações nos mesmos.

Importantes dados sobre as energias envolvidas na formação da ligação do  $\text{NaCl}$  foram apresentados na Atividade 5, os quais consistiram nos valores de energia para a formação do par  $\text{NaCl}$  e da rede do composto. A partir desses dados, os estudantes tiveram que propor um modelo para o composto  $\text{NaCl}$ . A fim de permitir maior detalhamento do processo de criação do modelo, a atividade solicitou, na alternativa c da questão 1, que os estudantes descrevessem de forma detalhada o processo de construção do modelo no grupo. Em seguida, na questão 2, os estudantes foram solicitados a comparar o modelo que eles elaboraram aos modelos previamente construídos, indicando e justificando as diferenças em relação aos modelos anteriores. Esta atividade tem um papel essencial dentro da estratégia de ensino, pois o raciocínio a partir dos dados fornecidos é crucial para o desenvolvimento da idéia da existência de um único tipo de energia entre os íons, o que tende a fazer os estudantes modificarem sua idéia prévia de existência de moléculas de  $\text{NaCl}$ .

Na Atividade 6, os estudantes foram questionados sobre a capacidade de seus modelos explicarem a temperatura de fusão do  $\text{NaCl}$ . Esta atividade teve o propósito de favorecer a verificação da abrangência e das limitações dos modelos propostos.

A Atividade 7 foi introduzida com o propósito específico de elucidar dados sobre o processo metacognitivo dos estudantes, pois eles tiveram que estabelecer relações entre a

construção de modelo nesta estratégia e na da cola e, ainda, sobre o processo de construção de modelos realizado por eles e a construção de modelos pelos cientistas.

#### Estratégia de ensino para interações intermoleculares

Nesta estratégia de ensino, os estudantes iniciaram a Atividade 1 fazendo um teste empírico no qual eles aqueceram, em tubos de ensaio, separadamente, pequenas amostras de grafite e iodo. Antes do teste, os estudantes haviam sido solicitados a expressar suas previsões sobre o que aconteceria e, ao final do teste, eles tiveram de comparar suas previsões com os resultados observados. A Atividade 1 apresentou, ainda, questões sobre o papel do calor no experimento e sobre o porquê das diferenças observadas no aquecimento das duas substâncias.

Na Atividade 2, os estudantes tiveram de construir modelos para expressar o que havia acontecido nos sistemas, representando-os antes, durante e depois do aquecimento. Nesta atividade, também foram disponibilizados diversos materiais para os estudantes (bolinha de isopor, massinha de modelar, palitos de madeira, lápis de cor ou outros que eles quisessem solicitar). Nesse processo de construção, os estudantes tiveram de relacionar as propriedades observadas para iodo e grafite às ligações presentes em sua estrutura, considerando, em cada caso, o papel da energia fornecida. Após a elaboração dos modelos, os estudantes tiveram que utilizá-los para explicar o que ocorreu nos sistemas observados.

A Atividade 3 teve o propósito de favorecer o teste do modelo para o aquecimento do iodo a partir do resultado do teste do iodo com o amido. Para a realização desse teste, cada grupo recebeu amostras que continham amido e tintura de iodo. Ao gotejar a tintura de iodo nos materiais que contêm amido, a tintura de iodo assume a coloração azul devido à formação de um complexo entre o amido e o iodo molecular presente na solução. Após realizarem alguns testes e a professora lhes informar o significado do aparecimento da cor azul, os estudantes realizaram o teste para o vapor que saía do tubo contendo iodo em aquecimento. Eles aproximaram da saída do tubo de ensaio uma haste contendo, na ponta, um pequeno chumaço de algodão embebido em uma suspensão de amido em água. Este teste teve o propósito de fornecer evidências de que o vapor que era desprendido durante o aquecimento do iodo consistia em iodo molecular. Considerando a observação dessa evidência, a atividade solicitou que os estudantes comparassem os resultados do teste às suas previsões e, ainda, que avaliassem se o modelo previamente construído para o sistema do iodo era capaz de explicar as novas observações.

Na Atividade 4, os estudantes realizaram outro teste empírico usando outro composto molecular: o açúcar. O açúcar foi aquecido, em tubo de ensaio, até que se caramelizasse. Após o teste, os estudantes foram solicitados a elaborar um modelo capaz de explicar porque é possível observar tanto a fusão quanto a caramelização do açúcar quando este é aquecido, considerando as ligações existentes nesse composto e o gasto de energia envolvido. O objetivo desta atividade foi apresentar outro exemplo de substância molecular, cuja energia associada à quebra das interações intermoleculares é pequena (e, neste caso, próxima da energia associada ao rompimento das ligações interatômicas).

Na Atividade 5, foi apresentado um quadro com os valores de temperatura de fusão e de ebulição de diversas substâncias moleculares. Os estudantes foram solicitados a explicar por que algumas delas possuíam temperaturas de fusão e ebulição baixas enquanto as de outras eram altas. O objetivo desta atividade era ampliar o contexto de aplicação dos modelos elaborados pelos estudantes, permitindo que eles considerassem suas abrangências e limitações. Para isso eles tiveram de usar seus modelos previamente construídos na explicação das propriedades físicas temperaturas de fusão e ebulição, relacionando estas propriedades à magnitude das forças das interações existentes em diferentes compostos moleculares.

#### *Registro em vídeo*

Todas as aulas de química durante sete meses do ano letivo foram registradas em vídeo pela pesquisadora. O registro englobou todos os momentos das aulas: exposições da professora, discussões nos grupos, socialização de modelos e idéias dos estudantes, condução de experimentos, entre outros.

Durante o registro em vídeo das discussões dos grupos, os alunos foram questionados em alguns momentos, pela professora ou pela pesquisadora, a respeito do processo que estava sendo vivenciado por eles. Tais questionamentos tiveram por objetivo esclarecer o porquê das ações dos estudantes durante a participação em atividades de modelagem, evidenciando os elementos que eles julgavam contribuir para isso (específicos daquele processo e/ou conteúdo, ou conhecimentos desenvolvidos em situações anteriores). Desta forma ocorreu, em diversos momentos, o registro em vídeo direcionado para determinado grupo.

A disponibilidade de apenas uma filmadora para tal registro impediu o acompanhamento completo de todos os grupos, sendo registrados apenas trechos das discussões de alguns grupos.

### *Notas de campo*

A observação permitiu fazer uma avaliação do processo como um todo, levantar elementos que contribuíram para a estruturação das entrevistas, determinar critérios para a posterior seleção dos dados e das amostras para as entrevistas. As notas de campo oriundas do processo de observação da pesquisadora também foram usadas para direcionar a análise posterior, permitindo-lhe recorrer a tais dados para reavaliar e/ou confirmar impressões registradas no momento das atividades.

### *Entrevistas*

Devido à inviabilidade de realização de entrevistas com todos os estudantes da turma (em função do curto período de tempo em que elas deveriam ser realizadas e necessidade de apenas a própria pesquisadora conduzir tais entrevistas) e, ao mesmo tempo, para contemplar todos os grupos da turma, as entrevistas foram realizadas individualmente, com uma amostra de aproximadamente 12 estudantes por etapa, sendo selecionados dois estudantes por grupo para cada etapa de entrevistas. Os critérios de seleção dos estudantes foram: a frequência nas atividades realizadas em sala, a disponibilidade para participar das entrevistas e a capacidade de se comunicar com clareza.

A intenção original era manter os mesmos estudantes participantes desde a primeira até a última entrevista, para que fosse possível uma posterior análise em termos de desenvolvimento do pensamento e/ou de habilidades desses estudantes. Contudo, os critérios mencionados acima levaram à alteração de alguns estudantes selecionados para cada uma das etapas de entrevista.

Foram realizadas três etapas de entrevistas: uma após o término da primeira atividade de modelagem (“Por que a cola cola?”), a segunda após a estratégia de ensino de ligação iônica e a última ao final do ano letivo, após a realização de todas as atividades de ensino previamente programadas.

As entrevistas buscaram elucidar as ações empregadas pelos estudantes durante as atividades de modelagem e os conhecimentos por eles mobilizados. Por isso, elas foram entrevistas semi-estruturadas, nas quais as observações em sala e as atividades escritas foram usadas para gerar questões que permitiriam maior entendimento sobre as respostas dos alunos nas atividades escritas, suas falas e participação em sala de aula e sobre a percepção que eles tinham sobre os conhecimentos por eles desenvolvidos. As atividades escritas foram

disponibilizadas para os estudantes durante as entrevistas, a fim de que eles pudessem recordar o momento de ensino de forma mais completa e refletir sobre o mesmo.

## **Metodologia de análise de dados**

### ***Primeira questão de pesquisa***

#### *Elaboração das categorias de análise*

A análise realizada para buscar responder a primeira questão desta pesquisa – *Quais habilidades cognitivas são empregadas e desenvolvidas por estudantes do ensino médio ao longo de atividades de ensino de química baseadas em modelagem?* – requereu a identificação das habilidades empregadas pelos estudantes durante o processo de ensino. Para viabilizar a identificação de tais habilidades, foi elaborado um quadro (Quadro 2) contendo o relacionamento entre uma série de habilidades associadas ao processo de investigação científica e o processo de modelagem, conforme descrito no diagrama Modelo de Modelagem (Figura 2). Para a construção desse quadro, foram identificadas na literatura da área de Educação em Ciências, incluindo pesquisas (como Wu, & Hsieh, 2006; Zohar, 2002; Chinn, & Malhotra, 2002) e documentos oficiais (como OECD, 2006; Brasil, 2002), habilidades que poderiam ser associadas ao desenvolvimento das atividades investigativas no contexto de ensino de Ciências. Tais habilidades foram relacionadas pela pesquisadora a cada uma das etapas do processo de modelagem, sendo este relacionamento feito observando-se a descrição de cada etapa do processo e, a partir disso, as habilidades consideradas necessárias ao sucesso em cada uma delas. Além disso, foi considerada também a possibilidade de identificação de cada uma dessas habilidades no contexto da sala de aula. Quando concluímos (a partir de uma análise inicial dos dados) que seria impossível identificar uma habilidade de forma completamente desvinculada da outra, apresentamos o que originalmente seriam duas habilidades como se fosse uma única. Por exemplo: ‘analisar’ e ‘compreender’ a situação problema; ‘planejar’ e ‘conduzir’ experimentos adequados. A caracterização das habilidades e o relacionamento das mesmas com as etapas do processo de modelagem foram aspectos analisados e avaliados por uma segunda pesquisadora da área de Educação em Ciências e com larga experiência com modelagem, sendo estabelecido um consenso para a elaboração da versão final do Quadro de Habilidades em Modelagem (Quadro 2, apresentado no próximo capítulo).

O quadro 2 subsidiou a construção das categorias usadas para posterior realização da análise. Para cada habilidade, foram criadas subcategorias que correspondiam, em geral: ao emprego pleno da determinada habilidade pelo estudante, ao emprego parcial de determinada habilidade ou ao emprego insatisfatório da habilidade. Para determinadas habilidades, outros aspectos mais particulares foram observados de acordo com a possibilidade de expressão da mesma. Foram apresentados descritores de cada uma das habilidades consideradas, bem como para as subcategorias, com o propósito de viabilizar a identificação de elementos durante o processo (nos dados escritos ou nos vídeos) que permitissem a avaliação das habilidades empregadas pelos estudantes.

As subcategorias criadas foram empregadas, independentemente, pela pesquisadora e por uma assistente de pesquisa, na análise do registro em vídeo de algumas aulas. Os resultados dessa primeira análise foram discutidos entre as mesmas a fim de se estabelecer um consenso em relação aos critérios empregados, à clareza dos descritores das subcategorias e à possível existência de outras subcategorias para a análise. Nova análise de dados foi realizada pela pesquisadora e pela assistente de pesquisa, seguindo-se o mesmo processo de discussão e adequação das subcategorias, até que se chegou a uma versão da ferramenta de análise que se acreditou capaz de atender às necessidades desse processo.

Após a construção das subcategorias e dos critérios de identificação das mesmas de forma satisfatória à análise, este material foi submetido ao parecer de outros três pesquisadores da área de Educação em Ciências, todos com larga experiência em modelagem e pesquisas de ensino com esta temática. As alterações sugeridas foram incorporadas à ferramenta final de análise que, sendo um primeiro produto deste trabalho, é apresentada no capítulo 5.

#### *A realização da análise*

A análise apresentada neste documento envolveu os dados do processo de dois grupos ao longo de três atividades de modelagem: “Por que a cola cola?”, “Modelo para a ligação iônica” e “Modelo para interações intermoleculares”. A opção para a realização da análise do processo de dois grupos se deveu ao grande volume de dados coletados nesses grupos e, ao mesmo tempo, à indisponibilidade de dados que permitissem o acompanhamento do processo de todos os grupos (o que ocorreu, principalmente, devido ao uso de uma única filmadora). Uma vez que o primeiro objetivo desta pesquisa contempla o *processo* vivenciado pelos estudantes, os dados do registro em vídeo eram primordiais neste levantamento e deveriam ser mais completos quanto possível.

Além disso, o trabalho desses dois grupos pareceu bastante representativo em relação ao total da amostra, uma vez que as respostas dos estudantes e os modelos produzidos não foram muito diferenciados (em termos de conteúdo e nível de detalhamento) em relação aos demais grupos que não foram incluídos na análise.

A filmagem de cada uma destas atividades foi empregada para a construção de Quadros Representativos dos Processos. Seus elementos e os descritores dos mesmos são apresentados no quadro 1. Quadros como este foram construídos para o desenvolvimento de cada estratégia de modelagem e para cada grupo (quadros 3 a 8, apresentados no capítulo 6). Cada quadro contém as principais idéias manifestadas pelos estudantes, seus modelos (intermediários e finais) e as principais características dos mesmos, tudo disposto em uma seqüência cronológica, visando facilitar o acompanhamento do desenvolvimento dos conhecimentos e habilidades empregados pelos estudantes.

A análise das filmagens das aulas foi realizada de forma direta, usando-se o programa Videograph®. Isto permitiu, em uma primeira instância, separar os trechos correspondentes ao processo de cada grupo e aqueles que eram comuns à turma. A seguir, todas as categorias e subcategorias de análise (Quadro 2) foram transferidas para esse programa, sendo possível demarcar o trecho de vídeo em que foi identificada a manifestação das habilidades. Esta identificação foi transferida para os Quadros Representativos dos Processos (Quadros 5 a 10), sendo feita a associação entre o momento do processo, a etapa do processo de modelagem (identificada a partir do diagrama Modelo de Modelagem (Justi, & Gilbert, 2002)) e as subcategorias de análise de habilidades, como demonstrado no quadro 1.

<b>DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO</b>	<b>ELEMENTOS DO PROCESSO</b>	<b>DESCRIÇÃO DOS MODELOS</b>	<b>HABILIDADES</b>
Descrição das ações ou eventos ocorridos em sala de aula.	Identificação das etapas do processo de modelagem ou eventos que ocorrem no processo.	Descrição dos modelos elaborados pelos alunos.	Identificação das subcategorias de análise.

Quadro 1. Organização dos dados do processo e da análise.

Para a composição dos quadros, as atividades escritas também foram transcritas e as principais idéias e/ou modelos apresentados pelos alunos foram transferidos para os Quadros Representativos dos Processos de cada grupo, complementando-os ou corroborando a

construção destes. Notas de campo contribuíram para a reconstrução do processo vivenciado pelos grupos, permitindo maior compreensão sobre a origem dos modelos e as dificuldades encontradas pelos estudantes. Desta forma, todos os dados foram integrados na composição dos quadros representativos dos processos de construção e, a partir desses, as categorias e subcategorias foram identificadas em cada momento do processo.

A utilização das duas fontes de dados (registro em vídeo e atividades escritas) para a identificação das habilidades e, ainda, o uso de notas de campo, visaram um acompanhamento mais detalhado do processo vivenciado pelos estudantes, aumentando a disponibilidade de dados que favorecessem a discussão da primeira questão desta pesquisa, além de proporcionar maior confiabilidade dos dados por uma corroboração entre eles. Toda a análise foi validada por julgamento entre juízes: esta pesquisadora e sua orientadora.

Uma vez que as atividades foram desenvolvidas em grupo, quando o estudante expressou determinada idéia, assumimos que esta se tornou um conhecimento compartilhado com o grupo, isto é, a idéia foi disponibilizada para todos e os estudantes poderiam concordar com tal idéia, dando prosseguimento ao desenvolvimento do raciocínio ou, ainda, discordar da mesma e apresentar argumentos para refutá-la, o que foi observado pelo próprio desenvolvimento do processo. Desta forma, nos quadros que representam o processo de construção de modelos nos grupos (quadros 3 a 8) as idéias manifestadas são atribuídas ao grupo, não a cada indivíduo.

Para organizar a apresentação dos modelos elaborados e expressos pelos grupos, cada um deles foi identificado por **M<sub>x</sub>**, onde **x** é um número usado para diferenciar um modelo do outro. A distinção entre modelos foi estabelecida a partir de seus atributos principais, sendo que complementações secundárias, que não alteravam a idéia essencial do modelo, foram expressos apenas com a adição de uma letra (a, b, c, d...) à numeração do modelo principal. Por exemplo, o grupo 1 propôs o modelo **M2** para explicar a ligação que existe no composto NaCl, formado a partir da evaporação da água de uma solução do sal. Naquele modelo, os estudantes propuseram a formação de pares iônicos – como moléculas – após a evaporação da água. No modelo **M2a** a idéia dos pares NaCl permaneceu, mas foi adicionada a idéia de o cloro ter maior massa do que o sódio. Em **M2b** ocorreu nova complementação do modelo, sendo enfatizada a diferença da ligação entre os átomos e a atração entre as moléculas. Esta idéia de pares NaCl, chamados de moléculas pelo grupo, constituiu a idéia central destes três modelos (**M2**, **M2a** e **M2b**). Quando os estudantes propuseram um modelo no qual a idéia do NaCl molecular foi abandonada, caracterizou-se uma mudança em relação à característica

central do modelo anterior, o que definiu um novo modelo. O modelo em que os estudantes afirmaram não existir diferença entre as forças de ligação e interação dentro do composto NaCl foi, por isso, denominado **M3**.

A dificuldade em acessar todos os momentos de elaboração do modelo levou à opção por identificar na coluna *Elementos do Processo*, nos quadros 3 a 8, o processo de elaboração associado à expressão dos modelos, mesmo porque era comum os estudantes elaborarem seus modelos à medida que eles iam expressando suas idéias, dificultando a separação entre essas duas instâncias.

Apesar de os quadros representarem os processos *dos grupos*, neles foram incluídas as observações realizadas pela professora ao longo das atividades, uma vez que, muitas vezes, elas contêm informações, comandos e outras formas de interferência bastante diferentes daquelas presentes nas atividades escritas. Além disso, elas podem ter contribuído de diversas formas na construção do modelo, como, por exemplo, na explicitação dos objetivos do modelo, no fornecimento de informações sobre o sistema, na solicitação de que os estudantes testassem tais modelos, entre outros.

A opção pelo uso dos Quadros Representativos do Processo, em lugar, por exemplo, do emprego de estudos de caso, foi feita em função de o formato de quadro viabilizar e facilitar a análise dos dados ao longo do processo de ensino, com uma organização temporal adequada tanto dos fatos quanto dos modelos e da análise das habilidades. Além disso, acreditamos que esta é uma forma mais direta em que o leitor pode acompanhar o processo de cada grupo, identificar cada um de seus elementos constituintes e acompanhar detalhadamente a análise realizada.

A análise dos Quadros Representativos do Processo foi realizada para cada estratégia vivida por cada grupo, buscando-se evidenciar quais habilidades foram verificadas durante o processo, em quais momentos elas foram identificadas, com que frequência elas foram identificadas (isto é, se cada uma delas foi muito ou pouco recorrente ao longo do processo) e o desempenho dos estudantes na aplicação das habilidades. Em seguida, para cada grupo foi apresentada uma análise geral dos três processos de modelagem, sendo identificadas as similaridades e diferenças entre eles.

### **Segunda questão de pesquisa**

#### *Dados utilizados*

Para fundamentar a discussão da segunda questão de pesquisa – *Como as atividades de modelagem contribuem para o conhecimento de estudantes do ensino médio sobre a própria modelagem e seu papel na Ciência?* – foram analisadas as habilidades metacognitivas associadas ao aspecto procedimental – referentes a como os estudantes desenvolveram conhecimentos sobre as etapas envolvidas no processo de modelagem e sua auto-regulação na execução dessas – quanto conhecimentos específicos sobre modelagem – referentes ao conhecimento dos estudantes sobre o papel da modelagem dentro do processo de construção da Ciência. Para isso, foram analisadas as entrevistas individuais realizadas com os estudantes – o que se justifica pelo fato de as mesmas terem favorecido a explicitação de aspectos reflexivos sobre o processo de construção de modelos – e algumas atividades escritas, aplicadas especificamente com este propósito. Dentre as atividades escritas, enfatizou-se, principalmente, a análise das seguintes questões e/ou atividades:

- Questão 2 da Atividade 2 (Anexo 6), em que os estudantes descreveram as etapas empregadas no processo de construção do modelo da cola.
- Atividade 7 (Anexo 7), na qual os estudantes responderam diversas questões comparando os processos de construção dos modelos para a cola e para a ligação iônica, identificando as dificuldades encontradas e relacionando o processo vivenciado por eles ao processo de elaboração de modelos pelos cientistas.
- Questão 5, da 1ª Avaliação Parcial (Anexo 9), na qual os estudantes foram solicitados a descrever como eles fariam para elaborar um modelo para uma reação química.
- Questão 7 (Anexo 10), na qual os estudantes tiveram de construir modelos para sistemas não-químicos<sup>11</sup>, justificando a escolha do sistema. O emprego de sistemas não químicos se justifica pela possibilidade de acompanhar o processo de construção dos modelos pelos estudantes em um contexto mais diferenciado, em que eles não precisassem, necessariamente, empregar os conhecimentos de conteúdos desenvolvidos em outras atividades de modelagem. Assim, esperou-se focar mais o processo de modelagem do que o conteúdo dos modelos.

---

<sup>11</sup> A seleção dos sistemas ocorreu pensando-se em sistemas que, ao mesmo tempo, fizessem parte do cotidiano dos estudantes, parecessem interessantes para serem modelados e que seus mecanismos de funcionamento não fossem óbvios para os estudantes.

Como destacado anteriormente, as entrevistas foram realizadas individualmente, de forma semi-estruturada, sendo convidados 12 alunos da turma em cada sessão de entrevistas (selecionados de acordo com os critérios explicitados anteriormente), tendo duração de cerca de 30 minutos cada. Em todas elas, as questões buscaram elucidar todas as ações empregadas pelos estudantes para a resolução das atividades de modelagem, sem focar conteúdos específicos da disciplina. Elas envolviam aspectos gerais do processo de modelagem, buscando identificar se o estudante havia desenvolvido uma sistematização geral desse processo; quais conhecimentos ele identificava como necessários à condução do processo; se ele reconhecia etapas comuns às diversas atividades de modelagem; e em que medida ele percebia que a participação em uma atividade de modelagem contribuiu para desenvolver habilidades para a condução de outra atividade. Foram feitos, ainda, questionamentos sobre como os alunos percebiam as semelhanças e as diferenças entre o desenvolvimento de atividades de modelagem em sala de aula e a modelagem usada na prática científica.

#### *A realização da análise*

A análise dos dados para atender à segunda questão de pesquisa foi realizada buscando-se identificar: como os estudantes concebem o processo de modelagem; a visão que eles apresentam em relação a tal processo e sua relevância na Ciência; e como os estudantes relacionam (ou mesmo se eles relacionaram) o processo de construção de modelos em sala de aula àquele desenvolvido na Ciência, identificando quais as semelhanças e diferenças eles percebiam entre os dois processos.

Esta análise ocorreu a partir dos dados das atividades escritas associados aos dados das entrevistas, que foram analisados em conjunto para cada sessão de entrevistas realizadas. As questões que estruturaram cada uma das entrevistas se encontram no Anexo 11.

A primeira entrevista foi realizada com os estudantes após a conclusão da estratégia “*Por que a cola cola?*” e assim que eles haviam feito as Atividades 1 a 3 da estratégia de ensino para a ligação iônica. Nesta entrevista, dos doze estudantes convidados, dez compareceram. As questões iniciais da entrevista tiveram o propósito de destacar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre modelos e modelagem, tanto em relação aos aspectos teóricos quanto em relação à prática de atividades de construção de modelos semelhantes àquelas desenvolvidas no ano corrente. Em seguida, buscou-se analisar as dificuldades encontradas pelos estudantes ao longo dos processos de modelagem; quais etapas eles identificaram em relação à condução das atividades de modelagem; se tais etapas foram empregadas de forma consciente na elaboração do primeiro modelo para a cola; e quais diferenças eles

identificavam entre as etapas da construção do modelo para a cola e para o primeiro modelo para a ligação iônica. A fim de elucidar os aspectos desta análise, os dados das entrevistas foram usados juntamente com os dados escritos, em especial da questão 2 da Atividade 2 (Anexo 6) da estratégia de ensino para a cola, na qual os estudantes explicitaram etapas empregadas para a construção desse modelo.

A segunda sessão de entrevistas ocorreu após a conclusão da estratégia de ensino para as interações intermoleculares, após a realização da Primeira Avaliação Parcial (Anexo 9). Dos doze estudantes convidados, nove compareceram às entrevistas. Nestas entrevistas foram realizados questionamentos voltados à comparação da dificuldade dos três processos de modelagem (da cola, da ligação iônica e das interações intermoleculares), à elucidação das respostas dos estudantes à Atividade 7 da estratégia de ensino para ligação iônica e da questão 5 da 1ª Avaliação Parcial. Esta entrevista ocorreu neste momento em função de os estudantes terem participado, nas três estratégias de ensino, de diversas atividades, com a possibilidade de reformular, testar e avaliar seus modelos e de seus colegas, o que poderia ter contribuído de maneira diferenciada para o conhecimento sobre modelagem, comparado às atividades feitas até a primeira entrevista. A análise dessas entrevistas foi realizada em conjunto com os dados escritos das atividades citadas, buscando-se destacar os seguintes aspectos: as principais dificuldades encontradas nos processos de modelagem; quais as diferenças em termos do processo de construção entre as estratégias de ensino para cola e para ligação iônica; quais as etapas empregadas no processo de construção do modelo para uma reação química e as diferenças e semelhanças entre o processo de construção de modelos em sala de aula e o processo de construção de modelos pelos cientistas.

A terceira sessão de entrevistas, com a participação de nove estudantes, ocorreu ao final do ano letivo, após a realização da avaliação final (Anexo 10). Essas entrevistas buscaram elucidar aspectos relativos à questão 7 desta avaliação (que versava sobre a construção de modelos para um dos sistemas: spray, forno de microondas, chocolate Suflair, aparelho de medir pressão ou cartão telefônico) – questão esta que foi incluída com o propósito específico de atender a esta pesquisa. Os estudantes foram questionados sobre os sistemas escolhidos para serem modelados e as justificativas para tais escolhas. Além disso, buscou-se analisar o processo de construção vivenciado por eles em termos de quais foram os principais passos empregados e atributos que eles julgavam relevantes para a construção de modelos.

Os resultados da análise são apresentados no presente trabalho acompanhados de algumas discussões. Na sessão de conclusões apresentamos como a análise realizada

contribuiu e contemplou a segunda questão de pesquisa, avaliando o uso de habilidades metacognitivas em modelagem (ao pensar sobre a modelagem no que tange ao planejamento, à condução e à avaliação de ações durante o processo) e o desenvolvimento de um metaconhecimento sobre modelagem (nesse contexto, associado a uma reflexão sobre o papel da modelagem na Ciência).

## RESULTADOS I – A FERRAMENTA DE ANÁLISE

### Identificação das habilidades envolvidas em processos de modelagem

A identificação das habilidades envolvidas em processos de investigação em Ciências, seguida do relacionamento destas habilidades às etapas do processo de modelagem, conforme descrito no Capítulo 4, resultou na elaboração do quadro 2.

ETAPA DO PROCESSO DE MODELAGEM	HABILIDADES RELACIONADAS
Definir o objetivo do modelo	Analisar e compreender a situação-problema. Sistematizar o problema por meio da formulação de questões.
Ter experiência com o alvo	Observar propriedades do sistema em estudo. Selecionar conhecimentos prévios (na estrutura cognitiva). Buscar informações já disponíveis na literatura. Identificar propriedades do sistema ou conhecimentos prévios sobre o sistema em estudo que sejam relevantes.
Selecionar a origem para o modelo	Conhecer diferentes formas de obter e relacionar informações. Selecionar idéias e modelos prévios. Aplicar modelos e idéias prévias a novas situações.
Produzir um modelo mental	Integrar idéias, dados e modelos na elaboração de novos conhecimentos.
Expressar em algum dos modos de representação	Utilizar e interpretar diferentes formas de expressão e representação. Comunicar idéias com correção e clareza, fazendo uso de terminologias adequadas.
Conduzir experimentos mentais	Elaborar questões hipotéticas. Planejar e conduzir experimentos adequados. Identificar variáveis relevantes. Selecionar procedimentos. Analisar os resultados obtidos e as implicações dos mesmos.
Planejar e conduzir testes empíricos	Planejar experimentos adequados. Identificar variáveis relevantes. Selecionar procedimentos. Utilizar instrumentos de medição e de cálculo. Coletar, analisar e interpretar os dados.
Considerar abrangências e limitações do modelo	Analisar a extensão em que o modelo proposto atinge seus objetivos. Estabelecer relações entre o modelo proposto e um contexto mais amplo, envolvendo novas situações e/ou informações.

Quadro 2. Habilidades utilizadas em atividades de Modelagem.

A elaboração deste quadro subsidiou a construção da ferramenta de análise, que foi organizada a partir das etapas do processo de modelagem (apresentadas pelo diagrama Modelo de Modelagem, figura 2). A cada etapa do processo de modelagem foram relacionadas habilidades que eram entendidas como necessárias para a sua realização. A avaliação da manifestação de cada habilidade se deu a partir das subcategorias apresentadas a seguir, em que se avaliou a forma como cada uma delas se manifestou e em que extensão (ou seja, se ocorreu de forma completa e/ou suficiente).

Com o propósito de ampliar a compreensão do leitor sobre as categorias e subcategorias elaboradas, bem como os critérios empregados para a identificação dessas ao longo dos processos vividos pelos estudantes, as subcategorias serão apresentadas com seus descritores e, para algumas delas (aquelas que julgamos necessário maior esclarecimento e, ao mesmo tempo, dispúnhamos de dados oriundos desta pesquisa que as evidenciavam de forma clara e sucinta), apresentamos alguns exemplos de quando e como elas foram identificadas. A numeração atribuída a cada categoria ou subcategoria tem o propósito de favorecer a posterior identificação das mesmas ao longo do processo de análise, de forma que isso ocorra de maneira concisa e direta, sem a necessidade de reescrever os nomes das subcategorias que, muitas vezes, são extensos.

## **Habilidades envolvidas no processo de modelagem: detalhes das habilidades e parâmetros de análise**

### **1. Definição dos objetivos**

#### ***1.1 Sistematizar o problema por meio da formulação de questões.***

A compreensão da situação-problema pelo estudante pode ser observada através da sua capacidade de formular questões ou levantar hipóteses que o ajudem a compreender, analisar e sistematizar o problema em questão. Tal habilidade pode ser avaliada durante as discussões nos grupos, pela coerência dos questionamentos, hipóteses ou comentários relacionados ao problema proposto, sendo classificados em:

- 1.1.1.** Questionamento / comentário coerente e relevante para a compreensão/solução do problema: referente ao destaque de elementos cruciais ao desenvolvimento de idéias para a construção do modelo.

*Exemplo:* Um estudante do grupo 1, durante o desenvolvimento de um modelo para “Por que a cola cola?”, questionou: “Por que a cola seca rápido?”. Este

questionamento, dentro do processo, teve o propósito de enfatizar uma das características da cola que deveria ser explicada pelo modelo.

- 1.1.2.** Questionamento / comentário coerente, mas irrelevante para a sistematização do problema: referente à percepção de elementos que são dispensáveis para o desenvolvimento do modelo e/ou que enfatizem aspectos irrelevantes do sistema.

Esta categoria foi prevista, mas não foram identificados dados relativos à mesma.

- 1.1.3.** Questionamento / comentário incoerente com o problema em estudo: referente ao levantamento de elementos que não se aplicam ao problema levantado.

Esta categoria foi prevista, mas não foram identificados dados relativos à mesma.

## **2. Ter experiência com o alvo**

### **2.1 Observar propriedades do sistema em estudo.**

Durante o processo de ter experiência com o alvo, o estudante deve analisar o sistema empírico em estudo (a partir de observação direta ou descrição apresentada na atividade). Esta experiência buscada pelo / proporcionada ao estudante deve contribuir para o fornecimento de informações sobre o sistema, sejam estas relevantes ou não para o modelo a ser elaborado. Tal habilidade pode ser avaliada a partir dos aspectos destacados pelo grupo sobre o sistema em estudo, podendo configurar:

- 2.1.1.** Observação coerente: observação e levantamento de evidências/propriedades do sistema.

Exemplo: Alunos do grupo 2, após a realização do experimento empírico de aquecimento do açúcar, na estratégia de ensino de interações intermoleculares, afirmam que a água sai do açúcar com o aquecimento. Esta afirmação foi feita com base nas evidências físicas observadas por eles, como a formação de gotículas de água na parte superior da parede do tubo.

- 2.1.2.** Observação incoerente: observação inadequada, em desacordo com o fenômeno e/ou sistema disponível, sendo levantadas propriedades falsas em relação ao mesmo.

Exemplo: Um estudante do grupo 1, durante a interpretação do experimento empírico de aquecimento do açúcar, na estratégia de ensino de interações intermoleculares, afirmou que “*resta O e H ligados aos carbonos ao final do aquecimento do açúcar, do contrário viraria carvão*”. Nesta fala, é possível

observar que o estudante não considerou as evidências físicas do sistema após o aquecimento, uma vez que o açúcar foi transformado em um sólido negro, correspondente a carvão.

## **2.2 Selecionar conhecimentos prévios (na estrutura cognitiva).**

O desenvolvimento das idéias para a posterior elaboração do modelo depende da capacidade de o estudante conectar o sistema em estudo a conhecimentos trabalhados e consolidados em momentos anteriores. Para isto, é necessário que o estudante selecione tais conhecimentos em sua estrutura cognitiva. Isto pode ser observado durante as discussões nos grupos, sendo esta seleção de conhecimentos classificada como:

**2.2.1.** Seleção de conhecimentos coerentes: seleção de conhecimentos que trazem à discussão informações que permitem maior compreensão do sistema em estudo, fornecendo informações que confirmem ou refutem as análises em relação a tal sistema. Em outras palavras, conhecimentos prévios que sirvam como exemplos ou contra-exemplos para a investigação do sistema.

*Exemplo:* O grupo 1, ao propor o M2<sup>12</sup> para “Por que a cola cola?”, explicitou que o papel ou a madeira absorvem água rapidamente, o que explica o fato de a cola ser instantânea. Desta forma, os estudantes explicitaram que eles tinham o conhecimento prévio de que papel e madeira podem absorver água.

**2.2.2.** Seleção incoerente de conhecimentos: seleção de conhecimentos que não se aplicam ao sistema em estudo, por não se relacionarem ao sistema, por favorecerem o estabelecimento de relações incoerentes/incorrectas ou, ainda, por se tratarem de conhecimentos incorretos (o que reflete uma incompreensão do estudante sobre o tema).

*Exemplo 1:* Um estudante do grupo 2, durante a elaboração do modelo para “Por que a cola cola?”, identificou características do sistema papel/madeira/cola com base em seus conhecimentos prévios sobre interação entre cargas. Em relação a isso, o estudante afirmou que: “O papel não se liga diretamente à madeira porque ambos possuem carga positiva.” Com esta afirmativa, ele deixou explícito que não considerava a neutralidade elétrica dos materiais, ou mesmo que não reconhecia que materiais com mesma carga se repelem, o que demonstra uma seleção inadequada de seus conhecimentos prévios.

---

<sup>12</sup> Este modelo foi desenvolvido pelo grupo 1 e será apresentado no próximo capítulo, na análise do processo do grupo.

Exemplo 2: Para explicar a estabilidade adquirida com a formação do NaCl, um estudante do grupo 6 afirmou que:

*“O Na, ao perder um elétron, ganha energia e o Cl ao ganhar um elétron perde energia, por isso eles ficam instáveis. Portanto, para voltar a estabilidade, o Cl<sup>-</sup> tem que perder energia e o Na<sup>+</sup> ganhar energia. Quando eles se ligam, eles fazem essa “troca”, se estabilizando”.*

Isto demonstra uma incompreensão da estudante sobre a estabilidade das substâncias.

### **2.3 Buscar informações já disponíveis na literatura<sup>13</sup> e/ou com a professora<sup>14</sup>.**

Uma das formas de o estudante aprofundar seus conhecimentos a respeito do sistema em estudo é buscar elementos na literatura e/ou com a professora que possibilitem o desenvolvimento de suas idéias durante a construção do modelo. Para avaliar esta habilidade, deve-se identificar as informações<sup>15</sup> que o estudante busca sobre o sistema ou, ainda, se ele busca informações sobre o sistema, o que é classificado nas seguintes subcategorias:

**2.3.1. Informações coerentes:** os alunos selecionam informações na literatura que são aplicáveis ao contexto em estudo, que confirmem ou ampliem os conhecimentos que serão/foram empregados na construção do modelo.

Exemplo: Um estudante do grupo 2 questionou a professora a fim de confirmar suas idéias sobre a interpretação do experimento da queima do magnésio, na Atividade 1 da estratégia de ensino de ligação iônica. O estudante perguntou: *“o que acontece é que com o fogo o magnésio pega o oxigênio e faz o óxido?”*. Isto demonstra que ele possuía uma determinada idéia sobre o que ocorria no sistema em estudo e, a partir de uma questão confirmatória direcionada à professora, buscou validar tal conhecimento.

**2.3.2. Informações incoerentes:** os alunos selecionam informações que não são aplicáveis ao contexto em estudo ou, ainda, informações incorretas para a construção do modelo.

Esta categoria foi prevista, mas não foram identificados dados relativos à mesma.

---

<sup>13</sup> Em virtude das atividades aplicadas pelo professor terem sido planejadas com todos os dados necessários para que os alunos construíssem seus modelos, desde o início consideramos que seria difícil identificar esta habilidade dos estudantes ao longo das atividades.

<sup>14</sup> Devido ao contexto específico de ensino, o questionamento à professora foi considerado como uma forma possível de buscar informações sobre o sistema, inclusive em substituição à pesquisa na literatura.

<sup>15</sup> A habilidade do estudante é avaliada nesse processo pela adequação das informações por ele buscadas em relação aos seus propósitos na construção do modelo.

#### **2.4 Identificar propriedades do sistema/conhecimentos prévios sobre o sistema em estudo relevantes para construção do modelo.**

Após um estudo do sistema, no sentido de obter mais informações sobre o mesmo, os estudantes devem julgar, dentre as diversas propriedades observadas, aquelas cruciais para o desenvolvimento do modelo, isto é, quais propriedades fornecem informações que deverão ser consideradas na elaboração do modelo a fim de que ele responda a seus propósitos iniciais. A capacidade de contemplar os objetivos propostos para o modelo, bem como seu sucesso, depende, neste primeiro momento, da identificação das propriedades relevantes para a construção do modelo. Para cada sistema em estudo, existem determinadas propriedades que devem compor (ou contribuir para) a elaboração do modelo. De acordo com a capacidade de o estudante identificar tais propriedades, é possível avaliar esta habilidade a partir das seguintes categorias:

**2.4.1.** Identificação satisfatória das propriedades cruciais: quando o estudante é capaz de identificar todas as propriedades cruciais (de acordo com os objetivos da atividade) para a construção do modelo.

Exemplo: O grupo 2, durante a exposição de um modelo na estratégia de ensino de interações intermoleculares, após o experimento de aquecimento do iodo, explicitou que, comparado ao açúcar, o iodo precisava de mais energia para romper as ligações entre os átomos. A manifestação dessa idéia evidenciou uma interpretação do fenômeno à luz de seus conhecimentos prévios sobre ligação e energia. Isto indica que foi realizada uma observação adequada dos estudantes sobre a ocorrência de mudanças no sistema associada à energia fornecida.

**2.4.2.** Identificação insatisfatória das propriedades cruciais: quando o estudante deixa de identificar alguma das propriedades que seriam cruciais para a construção do modelo.

Exemplo: O grupo 1, ao final da Atividade 3 da estratégia de ensino para ligação iônica, elaborou um modelo para o NaCl constituído por pares NaCl, sem qualquer conexão entre os pares. Uma vez que a atividade considerou a formação do composto a partir da evaporação de uma solução aquosa de sal, isto evidencia que os estudantes não relacionaram a constituição do sólido com a formação de grãos, por exemplo. Para tal, os estudantes deveriam ter proposto como ocorre a ligação entre pares de NaCl, uma vez que o composto é formado por mais de um par.

**2.4.3.** Identificação de propriedades irrelevantes: quando o estudante não consegue distinguir as propriedades cruciais das secundárias, tentando integrar no modelo propriedades que não contribuem para que este alcance o objetivo proposto.

Exemplo: Na estratégia de ensino para interações intermoleculares, o grupo 2 considerou em seu modelo o número de ligações estabelecidas pelos átomos de iodo e de carbono para se estabilizar. Esta informação não contribuiu para a proposição de um modelo que explicasse o fenômeno observado.

### 3. Selecionar a origem para o modelo

#### 3.1 Selecionar idéias e modelos prévios e aplicá-los em novas situações.

A elaboração dos modelos pelos estudantes decorre, em geral, de seus conhecimentos prévios, estabelecendo relações e/ou analogias com modelos previamente conhecidos. Entretanto, o sucesso do estudante na elaboração do novo modelo depende da adequação dos modelos prévios selecionados ao sistema em estudo. Assim, pode ocorrer:

**3.1.1** Seleção de idéias e modelos prévios coerentes para a resolução do sistema em estudo: o estudante emprega modelos, idéias e analogias adequadas, que são cruciais para que o modelo construído atinja os objetivos propostos.

Exemplo: Uma estudante do grupo 2 justificou a estabilidade dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  com a seguinte idéia:

*“A estabilidade da substância é maior, pois os átomos, agora [como íons] estão com oito elétrons na última camada, que é a condição para um átomo estar estável e pelo fato da energia da substância formada ser menor, pois ao se juntarem as energias não se anulam e a diferença vai ser liberada”.*

Nesta idéia, a estudante empregou o modelo do octeto para explicar a estabilidade dos íons.

**3.1.2** Seleção de idéias e modelos prévios incoerentes com o sistema em estudo: o estudante estabelece analogias inadequadas ou modelos que não se aplicam ao sistema em estudo.

Exemplo: Uma estudante do grupo 5 utilizou o modelo de atração eletrostática entre elétrons e prótons para explicar a atração da cola com madeira e/ou papel (figura 3). O modelo considerado pela estudante, contudo, era incoerente com o sistema estudado, principalmente devido ao fato de ela ter considerado a cola como uma substância inteiramente negativa.

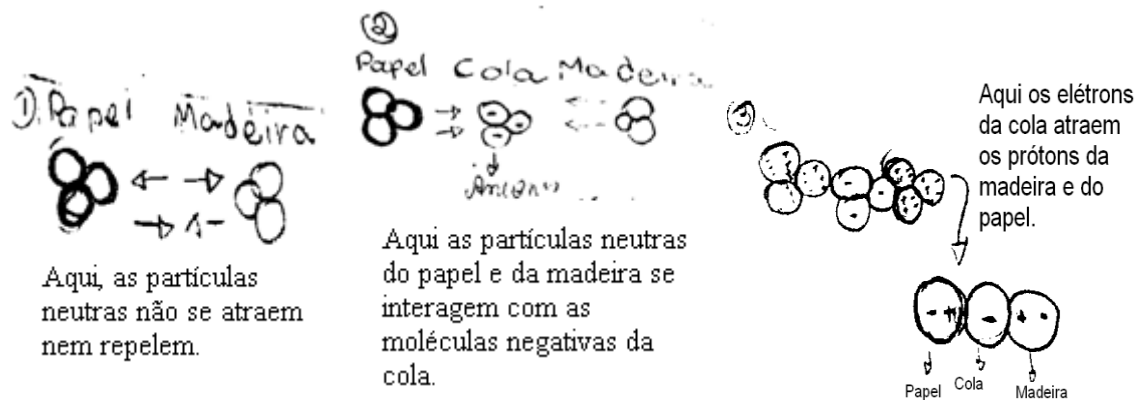


Figura 3. Modelo para a cola proposto pelo grupo 5.

#### 4. Produzir um modelo mental

##### 4.1 Integrar idéias, dados e modelos na elaboração de novos conhecimentos tendo em vista os objetivos definidos anteriormente.

A avaliação desta habilidade ocorre apenas através de elementos relativos ao modelo expresso, devido à impossibilidade de acesso à representação mental do estudante. Isto pode ser observado a partir da presença de idéias e aspectos de modelos anteriores no novo modelo elaborado, bem como pela coerência das idéias desenvolvidas com os dados disponibilizados para a construção dos modelos. Isto pode ser evidenciado por analogias a modelos anteriores feitas pelos estudantes, de forma explícita; pelo uso de códigos comuns a estudos anteriores; ou, ainda, pela explicação dos modelos construídos, de forma que sejam destacados os conhecimentos prévios empregados.

**4.1.1** Presença no modelo de todos os aspectos destacados anteriormente, empregados de forma coerente: o estudante integra ao modelo, de forma adequada, todas as informações, propriedades e modelos relevantes previamente destacados.

Exemplo: Uma estudante do grupo 1 explicitou em seu modelo final para “Por que a cola cola?” todas as idéias relevantes previamente destacadas no grupo, como a influência da concentração do soluto para a cola colar melhor, a água (solvente) estar em menor quantidade na cola para ela ser instantânea, a existência de poros nos materiais (madeira e papel) para permitir a entrada da cola e a existência de interações entre cola e papel e/ou madeira:

*“A cola seca rapidamente e é mais forte que as outras porque tem menos água e mais partículas que colam. Sendo assim, a absorção da  $H_2O$  com a cola pelos poros da madeira ou do papel é mais “intensa” e “rápida.”*

**4.1.2** Presença no modelo de todos os aspectos destacados anteriormente, empregados de forma incoerente: o estudante emprega informações, propriedades ou modelos prévios anteriormente destacados, mas o faz de forma incoerente, isto é, estabelece relacionamentos inadequados com o sistema em estudo.

Exemplo: O grupo 2 empregou, na Atividade 2 da estratégia de ensino de ligação iônica, os dados relativos à formação de íons, à energia envolvida e suas respectivas cargas ( $\text{Na}^+$   $\text{Cl}^-$ ). Contudo, o relacionamento dessas informações para a proposição do modelo ocorreu de forma incorreta. Isto pode ser afirmado com base na resposta de um estudante à atividade escrita para explicar a união dos íons:

*“Para formar o NaCl, o Na perde a energia que recebeu para formar  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Cl}^-$  absorve a energia que foi liberada. Como um tem um elétron a mais e o outro tem um a menos, vai haver uma doação. Ia sobrar 375,8 de energia”.*

Nesse trecho é possível observar que o grupo compreende a formação dos íons, mas acredita haver uma doação de elétrons posterior a isso, a fim de que os átomos voltem a ficar sem carga.

**4.1.3** Emprego parcial dos aspectos destacados anteriormente de forma coerente: o estudante integra ao modelo, de forma correta, mas parcial, as informações, propriedades e modelos relevantes previamente destacados.

Exemplo: O emprego parcial dos aspectos destacados está associado, principalmente, aos modelos intermediários ao longo do processo, à medida que os estudantes tentam atender aos objetivos do modelo um a um. Isto foi percebido, por exemplo, na estratégia de ensino para “Por que a cola cola?”, uma vez que os estudantes enfocaram os três aspectos: a cola ser instantânea, a cola ser para papel e/ou madeira e como a cola age, de forma independente, reunindo todos os aspectos apenas na composição dos modelos finais. É possível verificar isso por três falas de estudantes do grupo 1 que caracterizam modelos intermediários ao longo do processo: “Quanto menos água e mais partículas de cola ela tiver, mais rápido ela vai secar”, “As partículas da madeira interagem com as partículas da cola que, por sua vez, interagem com a madeira de novo” e “A cola é forte porque ela é mais concentrada”.

**4.1.4** Emprego parcial dos aspectos destacados anteriormente de forma incoerente: o estudante emprega parte das informações, propriedades ou dos modelos prévios anteriormente destacados, mas o faz de forma incoerente, isto é, estabelece relacionamentos inadequados com o sistema em estudo.

Esta categoria foi prevista, mas não foram identificados dados relativos à mesma.

## 5. Expressar em algum dos modos de representação

### 5.1 Utilizar e interpretar diferentes formas de expressão e representação (no grupo).

A expressão do modelo implica no conhecimento e uso de códigos de representação e diferentes formas de expressão. A expressão do modelo implica na capacidade de transmissão das idéias elaboradas pelo estudante. Para atender a essa demanda, faz-se necessário o julgamento dos modos de representação empregados pelo estudante para expressar o seu modelo, sendo possível identificar:

**5.1.1** Uso de códigos de representação previamente conhecidos: o estudante usa códigos convencionais usados em livros ou em aulas anteriores.

Exemplo: O emprego de representações de átomos ou íons como bolinhas, feito pelo grupo 6 na expressão do modelo para a formação do cloreto de sódio (figura 4).

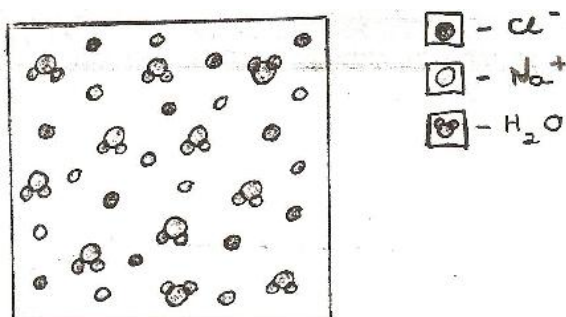


Figura 4. Representação do grupo 6 para o composto NaCl dissolvido em água.

**5.1.2** Criação de novos códigos de representação: o estudante cria e emprega novos códigos de representação.

Exemplo: Isso foi observado no processo de elaboração do modelo para o sólido I<sub>2</sub> pelo grupo 2, na estratégia de ensino para interações intermoleculares. Os estudantes empregaram representações já conhecidas, como esferas para representar os íons e palitos para representar ligações. Contudo, eles empregaram palitos com cores diferentes para diferenciar a ligação interatômica da interação intermolecular (Figura 5).

POLIANA FLÁVIA MAIA

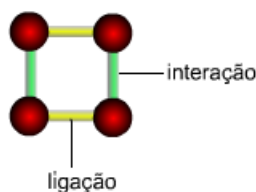


Figura 5. Representação da substância  $I_2$  proposta pelo grupo 2.

**5.1.3** Reconhecimento de limitação da expressão do modelo: o estudante é capaz de criticar seu modelo expresso, apontando alguma(s) das limitações do modo de expressão ao diferenciar o modelo por ele elaborado daquele representado.

Exemplo: O grupo 1 destacou uma limitação para seu modelo que representava o NaCl, na estratégia de ensino para ligação iônica: *“O compartilhamento de elétrons em cada molécula forma uma nuvem. A ligação não é como o palitinho representado”*.

**5.1.4** Níveis de representação usados: o estudante usa um ou mais níveis de representação para a expressão do modelo.

5.1.4.1 Simbólico: uso de representação gráfica e equações.

5.1.4.2 Bidimensional: uso de desenhos que representem o sistema ou o modelo.

5.1.4.3 Tridimensional: construção de modelos concretos.

5.1.4.4 Verbal: exposição verbal do modelo.

5.1.4.5 Gestual: uso de gestos para expor o modelo ou o seu funcionamento.

## **5.2 Comunicar idéias com correção e clareza, fazendo uso de terminologias adequadas.**

O momento de apresentação dos modelos para a turma é o momento principal para se avaliar a capacidade de o estudante explicitar suas idéias. Assim, independente da adequação do modelo do estudante ao modelo científico, deve ser analisada a clareza de explicitação das idéias e a coerência da explicação ao modelo desenvolvido.

### **5.2.1 Forma de apresentação**

5.2.1.1 Apresenta e justifica de forma coerente: o estudante apresenta seu modelo e justifica, de forma coerente, os principais elementos que o compõe, ou suas características.

Exemplo: Os estudantes do grupo 2, na estratégia para ensino das interações intermoleculares, propuseram um modelo para a estrutura da grafite (figura 6), justificando as propriedades observadas no experimento a partir deste modelo.

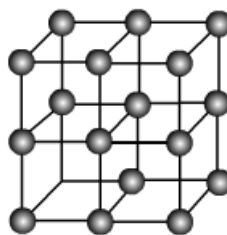


Figura 6. Estrutura da grafite proposta pelo grupo 2.

*“Como no grafite é o mesmo átomo ligado, as forças e as distâncias das ligações serão as mesmas. É como se fosse uma macromolécula, por isso vai ser mais difícil de quebrar sua estrutura. Ele é mais estável.”*

- 5.2.1.2 Apenas apresenta o modelo: o estudante apenas descreve o modelo, não apresentando qualquer justificativa que relacione o modelo e seus objetivos ou os elementos elaborados em sua construção.

Exemplo: Os estudantes do grupo 2, na Atividade 3 da estratégia de ensino para ligação iônica, apenas apresentaram como os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  estariam ligados após a evaporação da água, sem mencionar o porquê disso ou quais as evidências que os levaram a tal idéia: *“Com a evaporação da água, os íons vão deixar de estar dissolvidos. Ficará uma carga negativa, uma carga positiva e eles vão se atrair.”*

- 5.2.1.3 Apresenta e justifica de forma incoerente: o estudante apresenta o modelo e justifica suas propriedades, mas a justificativa é incoerente com os propósitos do modelo, ou as idéias empregadas pelo grupo não condizem com a construção do modelo.

Exemplo: O grupo 2 apresentou um modelo molecular para o  $\text{NaCl}$  na estratégia de ensino para ligação iônica. As justificativas apresentadas pelos estudantes foram pautadas na força de interação entre as moléculas e na estabilidade dessas moléculas:

*“Na fusão os pares de  $\text{NaCl}$  não são rompidos. O fato de a TF ser alta é explicado pela força de interação entre essas moléculas. Essa força é propiciada pela estabilidade das moléculas”.*

Isto mostra um relacionamento inadequado realizado pelo grupo, pois a elevada temperatura de fusão do composto é atribuída à estabilidade de suas moléculas, não de sua estrutura cristalina.

## 5.2.2 Clareza na explicitação de idéias

5.2.2.1 Clara explicitação das idéias: os estudantes apresentam o modelo construído com clareza, estabelecendo relações coerentes entre o construído e os objetivos que o modelo deveria atender.

Exemplo: O grupo 1 apresenta, ao final da estratégia de ensino para a cola, uma explicação que associa as características do modelo desenvolvido pelo grupo a todos os objetivos que o modelo deveria atender (especificidade da cola para papel e madeira, sua força e rapidez de ação):

*“A água é absorvida pela celulose (ou material vegetal presente no papel e na madeira) entrando nos poros do material, a água evapora e o “soluto” (partículas de cola) faz a interação entre os materiais (papel ou madeira). Esta cola é mais forte e cola instantaneamente porque é mais concentrada e, com isso, tem menos solvente (o solvente evapora rápido).”*

5.2.2.2 Explicitação das idéias de maneira confusa e/ou incompleta: o estudante apresenta o modelo, mas não sabe justificá-lo ou não sabe relacionar suas características aos propósitos que ele deveria atender.

Esta categoria foi prevista, mas não foram identificados dados relativos à mesma.

5.2.2.3 Níveis de representação usados: uso de um ou mais níveis de representação para a expressão do modelo, os quais podem ser:

5.2.2.3.1 Simbólico: uso de representação gráfica e equações.

5.2.2.3.2 Bidimensional: uso de desenhos que representem o sistema.

5.2.2.3.3 Tridimensional: construção de modelos concretos.

5.2.2.3.4 Verbal: uso de palavras, de forma escrita ou falada.

5.2.2.3.5 Gestual: uso de gestos para expor o modelo ou o seu funcionamento.

## 6. Conduzir experimentos mentais<sup>16</sup>

A condução de experimentos mentais refere-se ao emprego do modelo elaborado para explicar fenômenos e/ou situações hipotéticas.

### 6.1 Elaborar questões hipotéticas.

Para que o modelo seja testado mentalmente, é necessário que questões hipotéticas sejam formuladas, fazendo com que o teste do modelo consista na busca das respostas a essas questões após o processo de rodar mentalmente o modelo. Tais questões são relações condicionais e buscam responder, geralmente, “o que aconteceria se...”, com o uso do modelo. Assim, pode-se julgar esta habilidade pela identificação de:

**6.1.1** Formulação de questões pertinentes: o estudante elabora questões que contribuem para a avaliação do modelo, de forma que estas questões sejam relevantes para testar sua aplicabilidade.

Exemplo: O grupo 2 elaborou um modelo para “*Por que a cola cola?*” baseado na atração eletrostática entre a cola e o papel, estando um desses materiais carregado com carga positiva e outro com carga negativa. Diante disso, uma estudante levantou um questionamento – baseado em seu conhecimento prévio sobre a neutralidade de cargas dos materiais – que colocou à prova o modelo do grupo: “*Se o papel é neutro, como ele vai ficar iônico de repente?*”.

**6.1.2** Formulação de questões inconclusivas: o estudante propõe questões que não contribuem para que seja verificada a coerência do modelo com os seus objetivos ou, ainda, questões que não podem ser respondidas ao rodar o modelo mentalmente.

Esta categoria foi prevista, mas não foram identificados dados relativos à mesma.

### 6.2 Planejar e conduzir experimentos adequados, identificando variáveis relevantes e selecionando os procedimentos.

Para a proposição de respostas às questões hipotéticas, o aluno deve imaginar formas de empregar e “visualizar” o modelo construído em situações diversas. Esta habilidade se refere à capacidade de o estudante “encaixar” seu modelo em situações que permitam verificar todos os condicionantes propostos pelas questões. Assim, é possível identificar:

---

<sup>16</sup> A caracterização da condução de testes pelos estudantes ficou, em alguns momentos, comprometida na apresentação dos quadros representativos dos processos, devido à própria representação adotada. Contudo, durante a análise dos dados, a identificação dos momentos em que ocorreram testes foi feita considerando todo o contexto das discussões nos grupos. Tal processo de identificação foi validado através de julgamentos independentes e estabelecimento de consenso entre os pesquisadores.

**6.2.1** Planejamento e condução completa e adequada: o estudante planeja o teste para seu modelo e o conduz fazendo correlações adequadas entre causa e consequência.

Exemplo: O grupo 1, durante a elaboração do modelo para a ligação iônica, justificou a não existência de diferença nas forças de ligação no composto (ligação e interação) analisando um sistema previamente conhecido: o NaCl dissolvido em água. O grupo desenvolveu o seguinte raciocínio: se o NaCl fosse formado por moléculas, quando colocado em água ele não separaria em íons. Isto mostra que o grupo relacionou adequadamente causa (existe apenas um tipo de ligação no composto NaCl) e consequência (quando dissolvido em água, o NaCl origina íons, não moléculas).

**6.2.2** Planejamento e condução incompletos, mas adequados: o estudante planeja e conduz testes, mas não estabelece todas as correlações necessárias entre causa e consequência ou, ainda, não consegue prever determinadas consequências pelo emprego do modelo.

Exemplo: Um estudante do grupo 1, durante a elaboração do modelo pra a cola, propôs que: *“se a cola ficasse só na superfície, ela ia continuar colando mesmo depois de seca, então ela tem que ir para outro lugar”*. Este teste levou à conclusão de que a cola não ficava apenas na superfície do material, mas o estudante não foi capaz de prever para onde iria a cola e/ou como ela entraria no material.

**6.2.3** Planejamento e condução inadequados: o estudante planeja testes que não são adequados para testar o modelo ou, ainda, conduz o teste empregando o modelo de forma incorreta.

Exemplo: Após a proposição de um modelo do grupo 1 para *“Por que a cola cola?”*, em que os estudantes afirmaram que a cola era mais forte porque ela era mais concentrada, um estudante conduziu um experimento mental e concluiu que *“Se for uma cola normal mais concentrada, ela não vai ser mais forte, ela vai colar a mesma coisa”*. Contudo, não há clareza sobre como o estudante chegou a esta conclusão e, com isso, este teste não é adequado para refutar o modelo proposto.

### **6.3 Analisar os resultados obtidos e as implicações dos mesmos.**

Os resultados obtidos pelos estudantes devem ser analisados, de forma que eles sejam capazes de ponderar tanto a qualidade e/ou veracidade dos dados obtidos quanto a aplicabilidade do modelo nas situações de teste. Assim, é possível avaliar a análise realizada pelos estudantes como:

**6.3.1** Análise adequada: o estudante chega a conclusões corretas em relação ao uso do modelo nas situações propostas, sejam elas conclusões que corroborem a validade do modelo para aquela situação ou não.

Exemplo: O grupo 1, na estratégia de ensino para interações intermoleculares, justificou, com base em seu modelo, porque o grafite não muda com o aquecimento: *“porque as ligações covalentes são muito fortes”*. Isto mostra uma aplicação adequada do modelo que corrobora a sua validade.

**6.3.2** Análise inadequada: o estudante manipula os dados que levam a conclusões que não são suportadas pelos testes.

Exemplo: O grupo 2, na estratégia de ensino de ligação iônica, reafirmou o modelo baseado em moléculas de NaCl pois, se fosse atração por íons, o sal deveria formar um grão *gigante*, pois *“...sempre vai ter uma carga para atrair outra”*. Isto mostra que os estudantes, para negarem o modelo do NaCl formado por íons, testam tal modelo e o julgam inválido. Entretanto, esta é uma análise inadequada, uma vez que a não formação de “um grão gigante” não é prova contundente para dispensar o modelo iônico.

## **7. Planejar e conduzir testes empíricos<sup>17</sup>**

A condução de testes empíricos refere-se ao planejamento e execução de experimentos, envolvendo coleta de dados e posterior análise dos mesmos, de forma que os dados obtidos servem para corroborar ou não as previsões feitas a partir do modelo elaborado.

### **7.1 Planejar experimentos adequados.**

**7.1.1** Planejamento de experimentos adequados: o estudante planeja experimentos que podem fornecer informações relevantes para testar seu modelo na situação em questão.

---

<sup>17</sup> A validação desta categoria a partir de sua aplicação na análise ficou comprometida, o que decorreu da ausência de condução de testes empíricos durante as atividades de modelagem.

**7.1.2** Planejamento de experimentos inadequados: o estudante planeja experimentos que não são adequados para fornecer respostas conclusivas sobre o teste do modelo.

## **7.2 Identificação de variáveis relevantes com seleção de procedimentos.**

**7.2.1** Adequada seleção de variáveis: o estudante seleciona as variáveis que serão relevantes para fornecer as respostas necessárias ao teste do modelo.

**7.2.2** Inadequada seleção de variáveis: o estudante seleciona variáveis que não fornecerão resultados conclusivos para o teste do modelo.

**7.2.3** Adequado controle de variáveis: o estudante seleciona procedimentos adequados para o controle de variáveis, observando correlações adequadas.

**7.2.4** Inadequado controle de variáveis: o estudante não especifica as variáveis que serão analisadas ou não seleciona procedimentos adequados para o controle das mesmas, promovendo observações aleatórias ou correlações inadequadas.

## **7.3 Utilizar instrumentos de medição e de cálculo.**

**7.3.1** Uso adequado de instrumentos de medição e de cálculo: o estudante faz uso adequado de instrumentos de medição e de cálculo que podem fornecer informações relevantes para promover o teste do modelo.

**7.3.2** Uso inadequado de instrumentos de medição e de cálculo: o estudante não opera adequadamente instrumentos de medição e/ou de cálculo, obtendo resultados incorretos, ou mesmo não consegue obter os resultados.

## **7.4 Coletar dados.**

**7.4.1** Coleta de dados adequada: o estudante promove uma coleta adequada, chegando a dados que eram esperados e com precisão.

**7.4.2** Coleta de dados inadequada: o estudante promove uma coleta inadequada, chegando a dados não esperados e/ou imprecisos.

## **7.5 Analisar e interpretar os dados.**

**7.5.1** Conclusões adequadas: o estudante é capaz de analisar os dados e chegar a conclusões adequadas sobre o teste.

**7.5.2** Conclusões inadequadas: o estudante analisa os dados a partir de padrões inadequados, chegando a conclusões equivocadas sobre o teste do modelo.

**7.5.3** Integração adequada das conclusões ao modelo: o estudante estabelece relações adequadas entre os resultados obtidos nos testes e o modelo em estudo.

**7.5.4** Integração inadequada das conclusões ao modelo: o estudante analisa os resultados obtidos de forma inadequada, chegando a conclusões equivocadas e as relaciona ao teste do modelo, levando a julgamentos incorretos do mesmo.

## **8. Considerar abrangências e limitações do modelo**

### **8.1 Analisar a extensão em que o modelo proposto atinge seus objetivos.**

Após a construção e aplicação do modelo, o estudante deve ser capaz de analisar e criticar a aplicabilidade do seu próprio modelo em relação à capacidade deste de responder as questões iniciais e, com isso, contemplar os objetivos para os quais foi construído. Tal julgamento pode ser:

**8.1.1** Julgamento adequado: o estudante é capaz de julgar seu modelo, reconhecendo seu sucesso ou fracasso em relação aos objetivos propostos inicialmente.

Exemplo: Os alunos do grupo 1, durante o processo de elaboração de um modelo para a ligação do NaCl, identificaram uma limitação do modelo proposto por eles: o modelo proposto considerava a ligação apenas entre um íon  $\text{Na}^+$  e um  $\text{Cl}^-$ , não explicando o arranjo da substância.

**8.1.2** Julgamento inadequado: o estudante é capaz de julgar seu modelo de maneira objetiva, ignorando os objetivos iniciais ou, ainda, limitações encontradas quanto ao uso do modelo durante os testes.

Esta categoria foi prevista, mas não foram identificados dados relativos à mesma.

### **8.2 Estabelecer relações entre o modelo proposto e um contexto mais amplo, envolvendo novas situações e/ou informações.**

O modelo elaborado neste processo visa atender a determinados objetivos, o que não significa que esse mesmo modelo seja adequado em outros contextos relacionados ao mesmo sistema. Assim, através da análise de novas informações e/ou situações, o aluno deve ser capaz de julgar a aplicabilidade de seu modelo, concluindo, a partir disso, sobre a abrangência e as limitações do mesmo. Essa avaliação pode ser:

**8.2.1** Avaliação adequada do modelo diante de objetivos e/ou contextos mais amplos: o estudante é capaz de reconhecer falhas ou limitações do seu modelo através da análise de novas situações, bem como é capaz de aplicá-lo adequadamente em situações diferentes, comprovando sua abrangência.

Exemplo: Os estudantes do grupo 1, na estratégia de ensino de interações intermoleculares, identificaram uma limitação do modelo proposto para o

aquecimento do iodo: a impossibilidade de explicar porque o sistema não voltava a formar “*bolinhas de  $I_2$  sólido*”.

**8.2.2** Avaliação inadequada do modelo diante de objetivos e/ou contextos mais amplos: o estudante não é capaz de reconhecer falhas, limitações ou mesmo a aplicabilidade do seu modelo mediante novas situações.

Esta categoria foi prevista, mas não foram identificados dados relativos à mesma.

As subcategorias de análise apresentadas não se referem diretamente a habilidades desenvolvidas pelos estudantes, mas a ações ou evidências que, a nosso ver, permitem avaliar o uso das habilidades em estudo. Apesar de algumas dessas categorias serem difíceis de ser identificadas de forma independente, como ocorre, por exemplo, na elaboração de modelos mentais, elas foram analisadas, sempre que possível, a partir do modelo expresso pelo estudante. Isto porque, na expressão dos modelos, muitas vezes é possível detectar elementos que remetem às idéias empregadas e/ou desenvolvidas pelos estudantes durante a elaboração do modelo.

As subcategorias de análise identificadas, conforme apresentado neste capítulo, são apresentadas na quarta coluna dos Quadros Representativos dos Processos de modelagem (quadros 3 a 8).

## RESULTADOS II – ANÁLISE DA PRIMEIRA QUESTÃO DE PESQUISA

Como destacado anteriormente, a análise dos dados é apresentada por meio dos Quadros Representativos dos Processos para cada estratégia de ensino analisada, para cada um dos grupos. Após cada quadro, é apresentada também uma análise descritiva do processo. Tais análises têm por objetivo destacar as habilidades empregadas pelos estudantes e traçar um padrão relativo aos momentos em que elas ocorreram (ou quais momentos as desencadearam). Para isso, para cada elemento do processo apresentado são destacadas as subcategorias de análise (conforme apresentadas no quadro) em forma numérica. Ao final da apresentação e análise dos processos das três estratégias de cada grupo, é apresentada uma análise (por grupo) a fim de se traçar congruências e disparidades entre os processos, bem como avaliar o progresso dos estudantes no que tange a determinadas habilidades ou mesmo a recorrência de algumas dessas durante o processo.

As análises gerais dos dois grupos são integradas na elaboração das conclusões relativas a esta primeira questão de pesquisa, apresentando relações entre os aspectos discutidos na revisão teórica deste trabalho e os resultados alcançados na análise.

### **Análise dos Processos de Modelagem vividos pelo Grupo 1**

#### ***Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino “Por que a cola cola?”***


O quadro a seguir representa o processo vivido pelo grupo 1 durante a construção do modelo para “Por que a cola cola?”, no qual foram identificados os elementos relacionados ao processo de modelagem, a caracterização desses e dos modelos expressos. Associadas a cada um desses elementos, foram identificadas as subcategorias identificadas na análise (expressas através de seus códigos numéricos).

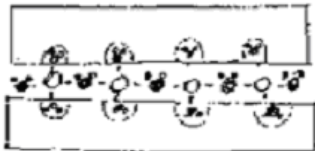
DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Um estudante questiona o objetivo do modelo: <i>“Será avaliado se a explicação está certa ou não?”</i>	Definição dos objetivos do modelo		1.1.1
Os estudantes exprimem verbalmente a primeira idéia sobre o funcionamento da cola.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1</b>	As partículas da madeira interagem com as partículas da cola que, por sua vez, interagem com a madeira de novo.	4.1.3 5.1.4.4
Um estudante ressalta um objetivo do modelo questionando o porquê de a cola colar <i>instantaneamente?</i>	Definição dos objetivos do modelo		1.1.1
Um estudante levanta características de outro sistema conhecido previamente: quando se coloca a cola entre duas folhas de papel, uma fica deslizando na outra.	Experiência com o alvo		2.2.1
Outro modelo é proposto para o sistema, agora com o foco no objetivo de explicar a rapidez com que a cola age.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2</b>	O papel ou a madeira absorvem água rapidamente, o que explica o fato de a cola ser instantânea.	2.2.1 2.4.2
Um estudante retoma seus conhecimentos prévios para explicar uma característica do sistema: <i>“Pode ser que um catalisador faça a cola colar rapidamente.”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.1

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Um estudante analisa as características do sistema: <i>“Se a cola seca mais rápido e é mais poderosa, ela cola melhor”</i> .	Ter experiência com o alvo		2.4.3
Um estudante associa o funcionamento da cola à presença de interações, fazendo uma analogia entre a maior força da cola ao fato de que <i>“ela tem interação mais forte”</i> .	Seleção da origem do modelo		3.1.1
Expressão verbal e gestual do modelo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1a</b>	Como a madeira e o papel não têm superfície lisa, esses materiais possuem poros para a cola entrar e poder grudar.	2.4.2 2.2.1 4.1.3 5.1.4.5
Durante a discussão no grupo, um estudante adiciona a idéia de concentração ao modelo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1b</b>	A cola é forte porque ela é mais concentrada.	4.1.3 5.1.4.4
Um estudante refuta o modelo <b>M1b</b> em relação à concentração: <i>“Se for uma cola normal mais concentrada, ela não vai ser mais forte, ela vai colar a mesma coisa”</i> .	Teste mental do modelo		2.2.2 6.2.3
Um estudante usa um modelo prévio para discutir o contra-exemplo anterior: <i>“Em uma cola escolar à base de água, se você colocar muita água ela não vai ser cola mais”</i> .	Teste mental do modelo		2.2.1 6.2.1 6.3.1

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Um estudante discorda do modelo <b>M1b</b> e apresenta verbalmente outro modelo para explicar a força da cola.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1c</b>	A cola é mais forte porque apresenta partículas com interação maior, não porque é mais concentrada.	3.1.1 4.1.3 5.1.4.4
Outros estudantes mantêm a idéia de <b>M1b</b> , que foi reforçada pelo teste mental, e desenvolvem a idéia de concentração, complementando <b>M1c</b> .	Elaboração e expressão do modelo <b>M1d</b>	<i>“A interação de cada partícula é a mesma, mas como tem mais partículas, a interação acaba sendo maior”.</i>	4.1.3 5.1.4.4
Um estudante retoma um dos objetivos do modelo questionando: <i>“Por que a cola seca rápido?”</i>	Definição dos objetivos do modelo		1.1.1
Um estudante retoma a propriedade da cola ser instantânea, apresentado em <b>M2</b> , e complementa tal idéia.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2a</b>	<i>“Quanto menos água e mais partículas de cola ela tiver, mais rápido ela vai secar”.</i>	3.1.1 4.1.3 5.1.4.4
Os estudantes usam conhecimentos prévios para explicar como a cola penetra no papel e na madeira: a celulose interage com a água, absorvendo-a e, assim, interage com a cola.	Ter experiência com o alvo		2.2.1
Um estudante discorda do fato de ser a celulose que interage com a água. Ele concorda com a idéia, mas atribui a interação ao material vegetal presente no papel e na madeira, não necessariamente à celulose.	Ter experiência com o alvo		2.2.1

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Um estudante seleciona as características específicas do sistema que deverão compor o modelo, estabelecendo um consenso entre as idéias anteriores: <i>“o que importa é que tem um material na madeira e no papel, que não tem no ferro, por exemplo, que vai interagir”</i> .	Definição dos objetivos do modelo Ter experiência com o alvo		1.1.1 2.2.1
O grupo associa a presença de poros no papel e na madeira (anteriormente destacado no modelo <b>M1a</b> ) ao fato de ela colar melhor. O modelo é expresso verbalmente pelo grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2b</b>	<i>“O material vegetal que absorve a cola é mais poroso, por isso ela cola melhor e mais rápido”</i> .	2.4.2 4.1.1 5.1.4.4
O grupo retoma a idéia de que o papel interage com a água, a qual faz parte de seus conhecimentos prévios.	Ter experiência com o alvo		2.2.1
Os estudantes usam um conhecimento prévio – <i>“se você colocar uma gota de cola e esperar para colocar o outro papel não vai colar”</i> – para afirmar a necessidade da presença do solvente na cola.	Ter experiência com o alvo		2.2.1

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Os estudantes apresentam verbalmente suas idéias propondo um modelo incompleto baseado nas interações.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1e</b>	<i>“O soluto interage com a água e a água com o outro material. Precisa ter alguma coisa que liga os dois materiais”.</i>	2.4.2 3.1.1 4.1.3 5.1.4.4
Os estudantes incorporam à discussão uma informação fornecida pela professora: <i>“A cola interage com a água”.</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
Os estudantes relacionam a idéia de poros com a absorção da cola pelos materiais, o que é expresso verbalmente e por desenhos nas atividades escritas.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3</b> 	<i>“O movimento de absorção faz com que as partículas de cola sejam carregadas para dentro do material, fazendo uma interação entre eles”.</i>	2.4.2 3.1.1 4.1.3 5.1.4.2 5.1.4.5
Um estudante destaca uma característica do sistema baseado em conhecimentos prévios: <i>a cola tem que secar para colar.</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.1
Um estudante delimita os aspectos que devem compor o modelo em questão: <i>“A interação tem que ocorrer entre o papel e a cola porque se o papel interagir só com a água não vai colar”.</i>	Definição do objetivo do modelo		1.1.1

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
O grupo complementa as idéias apresentadas em M3 e expressa o modelo de forma verbal e por desenhos.	<p>Elaboração e expressão do modelo <b>M3a</b></p>  <p>Quando a celulose absorve o solvente, ele continua a interagir com o soluto, que não é todo absorvido.</p>	<p>“A cola entra para dentro das duas partes, mas ainda fica um pouco de cola no meio para continuar colando”.</p>	<p>5.2.1.1 5.1.4.2 5.1.4.4</p>
Os estudantes retomam situações que corroboram o modelo a partir de seus conhecimentos prévios. Nesse caso, eles salientam a necessidade da existência das partículas de cola, pois <i>“madeira com madeira se encostar não vai colar”</i> .	Teste mental do modelo		<p>2.1.1 6.1.1</p>
Um estudante destaca, a partir de seus conhecimentos prévios, a necessidade da existência das partículas de cola: <i>“se apenas a água entrar nas duas partes não vai colar”</i> .	Teste mental do modelo		<p>6.2.1 6.3.1</p>
Um estudante retoma e reforça as características do modelo <b>M3a</b> , apresentando verbalmente suas idéias.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3a</b>	A cola tem que entrar nos poros das duas partes para colar.	<p>4.1.3 5.1.4.4</p>

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Um estudante chama a atenção para uma característica do sistema, levantada a partir de seus conhecimentos prévios: <i>“a água interage mais com o papel, porque fica uma casquinha de cola no meio”</i> .	Ter experiência com o alvo		2.2.1
Os estudantes desenvolvem melhor a idéia apresentada no modelo <b>M3a</b> e expressam o modelo verbalmente para a professora.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3b</b>	Para que um material cole no outro, é necessário que fique um pouco de cola na superfície dos mesmos.	4.1.3 5.1.4.5 5.2.1.2
Um estudante expressa uma informação oriunda de seus conhecimentos prévios, questionando o modelo anterior: <i>“se a cola ficasse só na superfície ela ia continuar colando mesmo depois de seca, então ela tem que ir para outro lugar”</i> .	Teste mental do modelo		6.2.2 2.2.1
O grupo reúne suas conclusões em um modelo final e o expressa verbalmente dentro do grupo. A seguir, o modelo é expresso verbalmente e através de desenhos na atividade escrita.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3c</b>	A água é absorvida pela celulose (ou material vegetal presente no papel e na madeira) entrando nos poros do material, a água evapora e o “soluto” (partículas de cola) faz a interação entre os materiais (papel ou madeira). Esta cola é mais forte e cola instantaneamente porque é mais concentrada e, com isso, tem menos solvente (o solvente evapora rápido).	3.1.1 4.1.1 5.1.2 5.1.4.2 5.2.2.1 5.2.2.3.2

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
O grupo conclui que o modelo do funcionamento desta cola não pode ser aplicado para explicar o funcionamento da cola de sapateiro.	Identificação de limitação do modelo		8.2.1

Quadro 3. Quadro representativo do processo de modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino “Por que a cola cola?”.

### ***Análise do processo vivido pelo grupo 1 durante a realização da estratégia de ensino “Por que a cola cola?”***

A primeira atividade de modelagem desenvolvida pelo grupo foi iniciada pela compreensão dos objetivos explicitados na própria atividade, não requerendo do grupo a elaboração dos mesmos. A compreensão dos objetivos foi auxiliada por meio de um questionamento (1.1.1) realizado por um estudante no início da atividade de modelagem: *“Será avaliado se a explicação está certa ou não?”*. Ao longo da atividade, foi possível observar que os estudantes compreenderam adequadamente seus objetivos ao salientarem os aspectos que deveriam ser explicados pelo modelo final: *explicar porque a cola em questão é mais forte e porque ela cola instantaneamente* – isto associado à especificidade de uso da cola (para papel e madeira). A identificação dos objetivos do modelo não ficou restrita ao início da atividade de modelagem, sendo possível identificar que os estudantes retomaram tais objetivos no decorrer da mesma, com o intuito de destacar algum aspecto que deveria ser observado na composição do modelo. Isto pode ser observado no questionamento que antecedeu a elaboração de **M2a** (*“Por que a cola seca rápido?”*) ou nas colocações anteriores a **M2b** (*“o que importa é que tem um material na madeira e no papel, que não tem no ferro, por exemplo, que vai interagir.”*) e **M3a** (*“A interação tem que ocorrer entre o papel e a cola porque se o papel interagir só com a água não vai colar”*).

O uso de conhecimentos prévios teve grande influência na identificação das características do sistema, pois sem a oportunidade de observar fisicamente o sistema descrito na atividade, os estudantes se remeteram a sistemas do dia-a-dia, em que eles fazem uso de cola de papel. Isto foi importante para a seleção de propriedades que foram incorporadas para descrever o sistema modelado e para prover informações sobre o mesmo, sendo possível observar a seleção de conhecimentos coerentes em diversas etapas do processo (2.2.1). Por exemplo, os estudantes iniciaram suas discussões buscando explicar porque a cola é instantânea e, em relação a isso, um estudante levantou a seguinte hipótese: *“Pode ser que um catalisador faça a cola colar rapidamente”*. Isso mostra o emprego de um conhecimento anterior na tentativa de explicar um aspecto do sistema em estudo.

O levantamento de propriedades irrelevantes ocorreu em um momento restrito durante esta atividade, quando um estudante fez a seguinte observação: *“Se a cola seca mais rápido e é mais poderosa, ela cola melhor”* (2.4.3). Esta observação foi irrelevante tanto para o prosseguimento das discussões quanto para a compreensão do problema em questão, mas não comprometeu a seqüência do processo.

A seleção insatisfatória das propriedades cruciais do sistema (2.4.2) durante a atividade ocorreu como consequência de os estudantes tentarem explicar as características do sistema de forma independente, associando cada uma delas (a força da cola, o fato de ela ser instantânea, ou a aplicação exclusiva para papéis e madeira) a um elemento diferenciado no modelo. Isto foi identificado no momento da expressão dos modelos intermediários, como em **M2** (em que os estudantes explicaram o fato de a cola ser instantânea), **M1a** (que explicou apenas como a cola interage com papel e madeira), **M2b** (que explicou porque a cola é poderosa e instantânea, mas não explicou o fato de ela ser própria para madeira e papel) e **M3** (em que os estudantes explicaram como a cola funciona, mas sem explicar seus atributos).

A seleção da origem do modelo foi identificada nas situações em que o grupo determinava o modelo prévio que eles estavam assumindo e/ou incorporando ao modelo em construção, o que só pôde ser identificado durante a expressão do modelo. Modelos previamente estudados pelos estudantes, como os de interações e concentração, foram pontos de partida adequados para a elaboração dos seus modelos, tanto intermediários quanto o final (3.1.1). Por exemplo, (i) os modelos **M1c**, **M1e**, **M3** explicitavam claramente uma analogia entre a interação entre cola e papel (ou madeira) com outras interações previamente estudadas e, (ii) no caso do modelo **M2a**, ficou nítido o estabelecimento da analogia entre a força da cola e a concentração da mesma.

A elaboração dos modelos nessa atividade partiu essencialmente dos modelos e conhecimentos prévios dos estudantes, não sendo observada a proposição de formas de coletar informações adicionais, ou mesmo questionamentos à professora.

A expressão dos modelos no grupo ocorreu principalmente pelo uso de representação verbal (5.1.4.4) e gestual (5.1.4.5), quando os estudantes fizeram movimentos com as mãos e usaram materiais escolares para representar as partes coladas que estariam em contato no sistema (por exemplo: mão-borracha-mão representando papel-cola-papel). Modelos bidimensionais foram usados apenas nas atividades escritas (5.1.4.2), como representado na figura 7. Esses continham códigos elaborados pelos alunos, mas baseados em representações previamente estudadas (5.1.1), em especial modelos de partículas, para representar as moléculas de cola.

A comunicação das idéias para a turma não ocorreu nesta atividade, o que dificultou a avaliação das habilidades dos estudantes em relação a este aspecto, sendo considerados apenas a representação em desenho do modelo final registrado na atividade escrita (5.2.2.1) e os momentos em que os estudantes explicitaram seus modelos para a professora. O grupo fez

uso de representações bidimensionais bastante claras, com legendas e acompanhadas de explicações escritas, como exemplificado na figura 7.

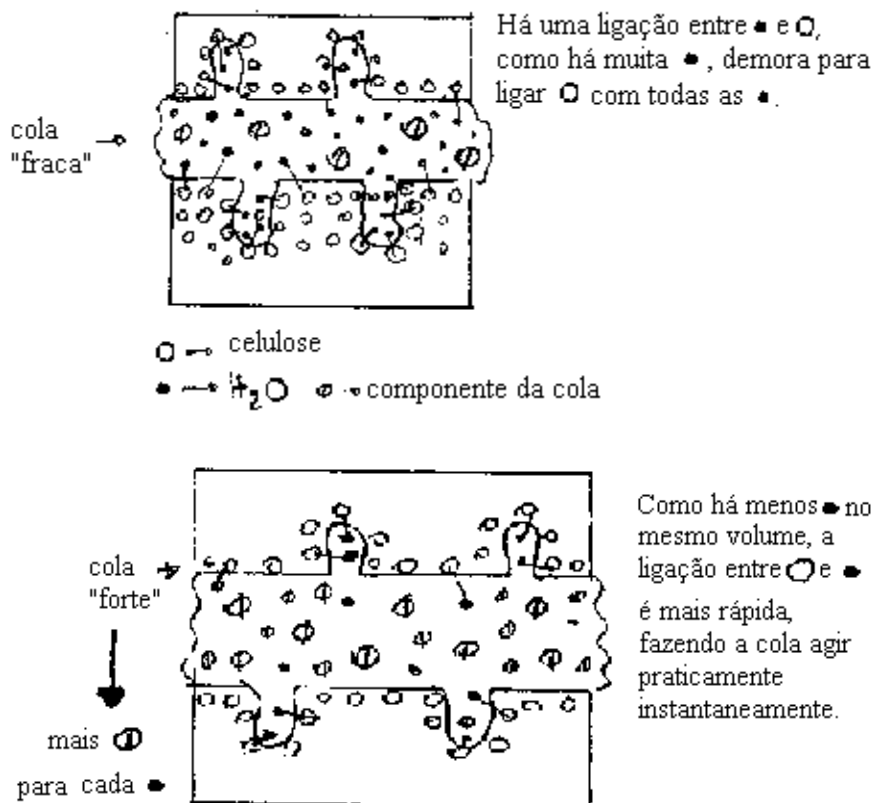


Figura 7. Modelo expresso na atividade escrita para explicar o funcionamento da cola.

A explicitação dos modelos para a professora também ocorreu de forma clara e com justificativas coerentes em quase todos os momentos (5.2.1.1 e 5.2.2.1), mesmo que o modelo não estivesse completo (isto é, mesmo que o grupo não tivesse, ainda, incorporado todos os elementos cruciais do modelo, como ocorreu em **M3a**). Na expressão do **M3b**, contudo, as justificativas não foram apresentadas (5.2.1.2).

As etapas de testes dos modelos foram conduzidas a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes, quando os mesmos compararam as características dos sistemas físicos que eles conheciam com os modelos propostos ao longo da atividade (6.3.1) de forma satisfatória. Este processo foi importante para os estudantes reelaborarem seus modelos e acrescentarem aspectos que não haviam sido contemplados anteriormente. Isto foi observado na transição de **M1b** para **M1c**, quando um estudante questionou **M1b** em relação ao papel da concentração: "Em uma cola escolar à base de água, se você colocar muita água ela não vai ser cola mais". A partir disso, na proposição de **M1c**, os estudantes atribuíram a força da cola a outro fator: a intensidade da interação entre as partículas. O teste do modelo **M3a** foi importante para eles

confirmarem uma idéia relevante apresentada nesse modelo: para que a cola cole, não apenas a água entra nos poros do papel e da madeira, mas a cola também tem que entrar nos poros.

O emprego do modelo para explicar o funcionamento de outros tipos de cola – no caso, a cola de sapateiro – foi proposto pelo próprio grupo. Nesse momento, os estudantes verificaram que o modelo proposto por eles estava restrito ao contexto apresentado pela atividade, não sendo capaz de explicar, por exemplo, como funciona a cola de sapateiro. Isto evidenciou que os estudantes realizaram uma análise coerente, identificando limitações de seu modelo (8.2.1).

***Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino de Ligação Iônica***

O quadro a seguir representa o processo vivido pelo grupo 1 durante a construção do modelo para ligação iônica, com a identificação dos elementos relacionados ao processo de modelagem, a caracterização desses e dos modelos expressos. Associadas a cada um desses elementos, foram identificadas as subcategorias identificadas na análise (expressas através de seus códigos numéricos).

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	A professora apresenta a equação da reação de queima do magnésio: $\text{Mg(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{MgO(s)}$	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante delimita o objetivo da primeira atividade reformulando a questão como: <i>“A questão quer saber: o aparecimento da luz indica o quê?”</i>	Definição dos objetivos		1.1.1
	Um estudante interpreta a evidência empírica, afirmando que a luz indica liberação de energia, o que significa que ocorreu uma reação química.	Ter experiência com o alvo		2.2.1
	Um estudante estabelece uma analogia entre o flash da máquina fotográfica e a reação do magnésio: <i>“nesse caso não tem fogo, então existe outra forma de energia que promove a mesma reação do magnésio (atrato, pilha)”</i> .	Selecionar origem para o modelo		3.1.1
	Os estudantes interpretam o sistema a partir do modelo do octeto para explicar a estabilidade do composto formado, mas afirmam que o magnésio forma ânion.	Ter experiência com o alvo		2.2.2

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	A professora fornece informação sobre a carga do magnésio: ele não forma ânion. Se formar íon, será um cátion. Ele não está na forma metálica, está na forma iônica.	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante faz um questionamento à professora para obter mais informações sobre o sistema: <i>“o magnésio é mais instável do que o óxido de magnésio, não é?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	A professora reforça o objetivo da atividade 1: <i>“Vocês vão ter que relacionar isso com absorção e liberação de energia.”</i>	Definir o objetivo do modelo		*
	Um estudante questiona a professora sobre qual é o estado de oxidação do magnésio no metal?	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	A professora informa que em solução ou no mineral só se encontra metal como cátion.	Ter experiência com o alvo		*
	Os estudantes buscam informações questionando a professora: <i>“quanto mais forte a ligação, mais estável é o composto?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.1 2.3.1
	Os estudantes buscam informações questionando a professora: <i>“Por ser uma ligação iônica é mais estável?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	Os estudantes interpretam as evidências empíricas. Eles afirmam que Mg e O são estáveis, tanto que eles não reagem sem uma energia de ativação.	Ter experiência com o alvo		2.2.1
	A professora informa que a substância é mais estável quanto menor seu conteúdo energético.	Ter experiência com o alvo		*
	A professora fornece informações sobre o sistema: o fogo fornece energia necessária para promover a quebra de ligações entre os átomos nessas substâncias (Mg e O <sub>2</sub> ). Quando esses átomos não estavam mais na substância, eles poderiam se ligar formando uma nova substância, o MgO. (Ênfase na necessidade de energia para ocorrência de reação)	Ter experiência com o alvo		*
	A professora informa que o MgO tem menor conteúdo energético do que Mg e O <sub>2</sub> e, por isso, é mais estável. Portanto pode-se pensar que as ligações são mais fortes.	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante começa a selecionar as idéias fundamentais para a elaboração do modelo: <i>“a tendência é ser mais estável, então, se tem energia que está excedendo esta estabilidade, libera a energia em forma de luz quando se liga”</i> .	Ter experiência com o alvo		2.2.1

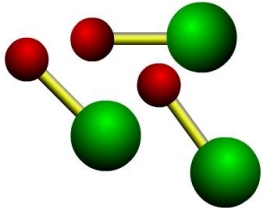
	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	A professora informa que, na quebra de ligação, há absorção de energia, enquanto na formação de novas ligações há liberação de energia.	Ter experiência com o alvo		*
	Como resultado das discussões, os alunos expressam o modelo verbalmente no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1</b>	Mg e O <sub>2</sub> separados são estáveis, mas quando é fornecida energia de ativação para a reação de combustão, tornam-se instáveis para que possam “se ligar” (reagir). Entretanto, quando se ligam, a liberação de energia na forma de luz faz com que eles se tornem muito estáveis, juntos, com ligações mais fortes.	2.4.1 4.1.1 5.1.4.4
	Os estudantes destacam uma propriedade do sistema “garrafa mágica”: a reação ocorre com o fornecimento de pequena quantidade de energia.	Ter experiência com o alvo		2.1.1
	Um estudante analisa o teste empírico realizado por outro grupo <sup>18</sup> : o aquecimento da solução da garrafa mágica não leva a conclusões satisfatórias por ter sido realizado em sistema aberto, o que leva à saída do gás.	Ter experiência com o alvo		2.1.1 2.2.1

<sup>18</sup> O grupo 3 propôs um teste empírico para avaliar as condições que provocam a mudança de cor da garrafa mágica: eles aqueceram a mesma solução usada na garrafa mágica em uma chama, mas o fizeram em sistema aberto.

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	Um estudante complementa <b>M1</b> , expressando suas idéias verbalmente para os colegas.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1a</b>	As formas em que as substâncias são encontradas e as formas como as substâncias podem se combinar vão depender de pressão, temperatura, abundância etc.	2.4.1 4.1.1 5.1.4.4
	A professora fornece informações sobre o sistema: o metal é mais estável quando ligado a um ânion; para uma substância ser formada ocorre um abaixamento de energia, e para ser formada e mantida tem que haver condições favoráveis para isso; a variação de energia interfere no processo de ser reversível ou não; a situação menos energética é a mais estável.	Ter experiência com o alvo		*
	A professora delimita os aspectos que os estudantes deverão observar ao propor um modelo para explicar uma reação química: mecanismo da ligação (variação da energia); estequiometria do composto e o número de ligações; estrutura da substância.	Definição dos objetivos do modelo		*
	A professora apresenta um modelo teórico sobre a formação de ligações (diagrama do poço de potencial), enfatizando que a ligação ocorre quando há equilíbrio entre forças atrativas e repulsivas entre os átomos na ligação.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	Um estudante busca informações sobre o sistema questionando a professora: <i>“Na ligação as forças se anulam?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	Um estudante busca informações sobre o sistema questionando a professora: <i>“Como a força de atração contribui negativamente para a formação da ligação?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
Atividade 2	Os estudantes questionam a professora se a energia é proporcional para todos os elétrons arrancados.	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	Um estudante emprega seus conhecimentos prévios para interpretar a energia de ionização: quanto menor a energia para retirar um elétron do átomo (E.I.), maior a tendência de esse átomo ficar positivamente carregado; quanto maior a afinidade eletrônica (A.E.), maior a tendência de ficar negativamente carregado.	Ter experiência com o alvo		3.1.1
	A professora interpreta os valores de A.E. e E.I. em relação à formação de cátions ou ânions.	Ter experiência com o alvo		*
	Além dos valores de A.E. e E.I., a professora analisa a estabilidade dos íons pela configuração eletrônica.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	A professora explicita os objetivos do modelo: explicar como os íons estão ligados.	Definir o objetivo do modelo		*
	Os estudantes destacam as idéias (baseadas em modelos prévios) que estão subsidiando a elaboração do modelo: o íon de Na mais estável, formado a partir da Na(s) é o Na <sup>+</sup> , pois é muito fácil ele perder um elétron (a energia de ionização é relativamente baixa) e é difícil ele ganhar um elétron (a afinidade eletrônica também é baixa); o íon de Cl mais estável formado a partir do Cl <sub>2</sub> (g) é o Cl <sup>-</sup> , pois a energia de ionização é alta (vai ser difícil retirar um elétron) e a afinidade eletrônica também (vai ser fácil ganhar um elétron).	Ter experiência com o alvo		2.1.1 2.2.1 2.4.1 3.1.1
	Os estudantes expressam o modelo, no grupo, usando os modos verbal e concreto.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2</b>	Modelo para a formação do NaCl a partir da solução: o NaCl na água fica dissociado em íons Na <sup>+</sup> e Cl <sup>-</sup> e com a evaporação da água ocorre atração entre os íons, por serem de cargas opostas. Representação de pares iônicos isolados.	2.2.1 4.1.1 5.1.1 5.1.4.3 5.1.4.4

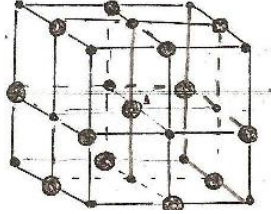
	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	Apresentação do modelo para a turma com utilização de modo concreto, através de bolinhas de massinha – uma verde e uma vermelha – ligadas por um palitinho para representar cada par NaCl.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2a</b> 	Representação de vários pares iônicos, sendo cada par formado devido à atração entre as cargas opostas. O Cl é maior do que o Na por ter maior massa.	2.2.1 2.4.2 3.1.1 4.1.1 5.1.1 5.2.1.1 5.2.2.3.4 5.2.2.3.3
	A professora questiona os estudantes a fim de que eles testem seu modelo: “ <i>Como eles (os pares) interagem para formar o sólido?</i> ”	Teste do modelo		*
	Expressão para a turma de uma reelaboração do modelo, gerada a partir do questionamento da professora.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2b</b>	A atração entre uma molécula e outra é diferente da ligação.	4.1.1 5.2.1.1 5.1.4.4
	O grupo explicita que reconhece limitações na representação: a ligação não existe fisicamente, assim como o palito.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2b</b>		5.1.3

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	Os estudantes, a partir do questionamento da professora, identificam uma limitação do modelo: o modelo proposto considerava a ligação apenas entre um íon $\text{Na}^+$ e um $\text{Cl}^-$ , não explicando o arranjo da substância.	Considerar limitações do modelo		8.1.1
	Expressão verbal do modelo no grupo e para a professora.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3</b>	Não existe diferença nas forças de ligação e interação porque quando colocado em água o NaCl se separa em íons. Isto não aconteceria se existissem moléculas.	2.2.1 2.4.1 4.1.1 5.2.1.1 6.2.1 6.3.1
	Os estudantes usam conhecimentos prévios para propor a organização do sistema: <i>“conforme visto no ano anterior, as partículas no estado sólido formam um retículo cristalino”</i> .	Ter experiência com o alvo		2.2.1
	Expressão verbal do modelo no grupo e para a professora.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3a</b>	O modelo de ‘NaCl molécula’ é só para representar a proporção. No cristal, um Na vai ligar com vários Cl no retículo.	4.1.1 5.1.1 5.1.3 5.1.4.3 5.2.1.1

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	Um estudante analisa a existência de várias ligações no composto e, a partir disso, conclui que não haverá uma pequena molécula (para NaCl), tudo ligado formará uma única grande molécula.	Teste do modelo		6.3.1
Atividade 4	A professora ressalta uma propriedade do composto NaCl (já apresentada na atividade): sua alta temperatura de fusão.	Ter experiência com o alvo		*
	Os estudantes propõem que há uma mesma distância entre os íons, pois <i>“não faz sentido um íon atrair outro com uma força e atrair um terceiro, exatamente igual, com força diferente”</i> .	Teste mental do modelo		6.2.1 6.3.1
	Expressão do modelo para a turma com o uso de representação verbal e concreta.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3b</b>	Os íons se atraem de uma mesma maneira, havendo ligações de mesma energia entre todos os íons. Durante a fusão, a energia cinética aumenta e os íons se separam.	2.2.1 2.4.1 4.1.1 5.1.4.3 5.1.4.4 5.2.1.1
	A professora pergunta qual foi o principal fator que contribuiu para a mudança do modelo do grupo de molecular para não-molecular.	Considerar as abrangências e limitações do modelo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 4	Esclarecimento sobre o modelo <b>M3b</b> , retomando um aspecto previamente enfatizado em <b>M3a</b> . Uso de expressão verbal.	Considerar as abrangências e limitações do modelo <b>M3b</b>	O modelo mudou, a molécula é uma proporção que existe. (Isto está associado à dificuldade de empregar outro termo que não seja molécula).	4.1.1 5.1.3 5.1.4.4 5.2.1.1 5.2.2.1 5.2.2.3.4
Atividade 5	A professora fornece informações sobre a diferença de energia na formação de pares iônicos e rede iônica.	Ter experiência com o alvo		*
	A professora fornece as seguintes informações: quando o NaCl é sólido ele não é condutor de corrente elétrica; quando o NaCl é líquido ou está dissolvido em água ele é condutor.	Ter experiência com o alvo		*
	O grupo expressa, simbólica e verbalmente, na atividade escrita e em discussão no grupo, um modelo para as energias no retículo de NaCl.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3c</b>	<i>“O primeiro par NaCl, ao ser formado, perde 104,5kcal de energia, mas quando liga o segundo par, o primeiro já perdeu um tanto de energia, então vai perder menos. E cada par que se liga vai perder menos energia. Vai sempre caindo pela metade”.</i>	2.1.1 2.4.1 4.1.1 5.1.4.1 5.1.4.4

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 5	Um estudante identifica uma limitação do modelo <b>M3c</b> : <i>“Mas não vai ligar um íon de cada vez”</i> .	Identificação da limitação do modelo		2.4.1 6.3.1 8.1.1
	Os estudantes retomam o objetivo do modelo que está sendo construído: ele tem que explicar porque a energia vai diminuindo quando outro par iônico que se incorpora ao retículo.	Definição do objetivo do modelo		1.1.1
	Um estudante destaca o objetivo do modelo e, ao mesmo tempo, identifica limitações inerentes ao modelo que eles construíram: <i>“Mas a gente não tem que explicar porque. Tem muita coisa que a gente não sabe, que a gente não consegue explicar. A gente só precisa saber que tem mais de uma ligação”</i> .	Definição do objetivo do modelo Identificação da limitação do modelo		1.1.1 2.4.1 8.1.1
	A professora informa que NaCl não deve ser chamado de molécula. Para se referir ao NaCl deve-se dizer par iônico ou, referindo-se à substância, dizer estrutura cristalina e, com isso, não se deve falar de polaridade, mas de interação eletrostática.	Expressão do modelo consensual		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 5	Os estudantes expressam seu modelo para a turma, de forma verbal e concreta, empregando bolinhas de massinha e palitos. Na atividade escrita, o modelo foi representado por desenhos.	<p>Elaboração e expressão do modelo <b>M3d</b></p> 	Cada íon pode se ligar no máximo seis vezes formando uma estrutura tridimensional parecida com um cubo.	<p>4.1.1</p> <p>5.1.1</p> <p>5.1.4.2</p> <p>5.1.4.3</p> <p>5.1.4.4</p> <p>5.2.1.1</p> <p>5.2.2.1</p> <p>5.2.2.3.2</p> <p>5.2.2.3.3</p> <p>5.2.2.3.4</p>
Atividade 6	O grupo chega à conclusão de que o modelo explica a alta temperatura de fusão do NaCl e a formação do retículo cristalino.	Considerar as abrangências do modelo		8.2.1

\* Não são identificadas habilidades porque se refere à fala da professora.

Quadro 4. Quadro representativo do processo de modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino “Modelo para ligação iônica”.

### ***Análise do processo vivenciado pelo grupo 1 durante a elaboração do modelo para ligação iônica***

A estratégia de ensino de ligação iônica apresenta diferenças significativas em relação àquela da cola, o que se deve especialmente ao caráter abstrato dos conceitos envolvidos na elaboração do modelo, como força, ligação química e energia. Em função disso, foi possível observar a necessidade de a professora apresentar maior número de conceitos e informações desde o início do processo, quando da apresentação da tabela com os valores de energia de ionização e afinidade eletrônica.

Os objetivos das atividades se mostraram bastante claros para os estudantes, uma vez que eles buscaram desenvolver modelos que atendiam aos objetivos propostos (1.1.1). No início do processo, os estudantes apresentaram uma reestruturação do questionamento da Atividade 1 (*“A questão quer saber: o aparecimento da luz indica o quê?”*) o que explicitou o processo de examinar os objetivos da atividade proposta. Em outros dois momentos, mais ao final da estratégia de ensino (após **M3c**), os estudantes retomaram de forma explícita os objetivos do modelo (*“ele tem que explicar porque a energia vai diminuindo quando outro par iônico que se incorpora ao retículo”* e *“Mas a gente não tem que explicar por que(...). A gente só precisa saber que tem mais de uma ligação”*). Em outros momentos a própria condução das atividades permitiu inferir que os estudantes compreenderam adequadamente os objetivos propostos. Foi possível, também, observar que as falas da professora podem ter contribuído para esclarecer os propósitos das atividades, uma vez que ela promoveu intervenções com tal objetivo: *“Vocês vão ter que relacionar isso com absorção e liberação de energia.”* ou no momento em que ela afirmou que o objetivo do modelo era explicar como os íons estão ligados.

Nesta estratégia de ensino, os estudantes tiveram de associar as evidências empíricas iniciais acerca de energia, os dados teóricos (tabelas com valores de energia de ionização e afinidade eletrônica) e os seus conhecimentos prévios. As observações realizadas pelos estudantes foram coerentes e satisfatórias, enfocando os principais aspectos que deveriam ser observados tanto em relação aos sistemas empíricos quanto aos teóricos (2.1.1). Isto pôde ser observado, por exemplo, durante a análise do sistema “garrafa mágica”, na Atividade 1, em que o grupo fez observações adequadas sobre o sistema e as analisou de forma coerente. O mesmo ocorreu em relação aos dados apresentados para as energias de ionização e afinidade eletrônica, na Atividade 2, e para os valores da energia do retículo na Atividade 5.

Conhecimentos prévios sobre estabilidade (aspecto que foi também exposto pela professora), reação química e formação de espécies carregadas foram adequadamente selecionados pelos estudantes e integrados à discussão e elaboração dos modelos (2.2.1). Isto ficou explícito em diversos momentos: na Atividade 1, quando os estudantes interpretaram a luz da queima do magnésio como evidência de reação química; questionaram a professora: *“quanto mais forte a ligação, mais estável é o composto?”*; afirmaram que a tendência de um composto é ser mais estável e, para isso, ele libera energia; em **M3b**, quando os estudantes explicitaram o uso de conhecimentos prévios ao afirmarem que a energia cinética dos íons aumenta durante a fusão e, por isso, eles se separam; entre outros. Os estudantes também empregaram seus conhecimentos prévios para destacar informações sobre o sistema em estudo, o que foi observado na expressão do modelo **M3**, quando eles afirmaram que o cloreto de sódio forma íons quando em solução.

Em apenas um momento foi possível observar a seleção incoerente de conhecimentos prévios, quando na Atividade 1 um estudante desenvolveu a idéia de que o magnésio formava carga negativa (2.2.2). Todavia, isto foi devidamente contornado em discussões com a professora e com o desenvolvimento da atividade (em especial a partir dos valores de energia de ionização e afinidade eletrônica do magnésio, que foram interpretados em uma discussão com a professora e evidenciaram a tendência do magnésio formar cátion).

As informações que os estudantes buscaram durante as atividades se relacionaram à compreensão de entidades abstratas ou modelos teóricos que ajudariam a explicar a ocorrência de reação química, sendo elaboradas questões confirmatórias (isto é, os estudantes desenvolviam uma idéia e confirmavam sua correção indagando à professora) ou questões exploratórias (isto é, questões que visavam uma maior compreensão do tópico em foco). Por exemplo, a questão *“quanto mais forte a ligação mais estável é o composto?”* (durante a Atividade 1) foi um exemplo de uma questão confirmatória, uma vez que os estudantes haviam elaborado uma interpretação sobre o fenômeno e quiseram verificar sua veracidade com a professora. Além disso, este tipo de questão se mostrou bastante relevante ao longo da modelagem porque permitiu o desenvolvimento de idéias sobre estabilidade das substâncias. Outro exemplo de questão exploratória é: *“Como a força de atração contribui negativamente para a formação da ligação?”*. Esta questão foi direcionada à professora no momento da explicação sobre o poço de potencial e, apesar de não ter levado a conhecimentos que fossem diretamente relacionados ao modelo que estava sendo construído pelos estudantes,

promoveu uma compreensão sobre o modelo teórico para ligações químicas, pois relacionava-se a atributos que contribuem para uma compreensão mais geral dentro do tema. Todas as perguntas feitas pelo grupo foram coerentes com a obtenção de informações relevantes para a elaboração do modelo (2.3.1).

A integração entre as propriedades do sistema destacadas pelo grupo e o modelo por eles elaborado ocorreu de forma bastante eficiente (2.4.1), sendo possível observar tais propriedades na maioria dos modelos expressos. Por exemplo, em **M1** os estudantes apresentaram as idéias de estabilidade dos compostos, energia de ativação, formação da ligação e liberação de energia durante a reação do magnésio com o oxigênio, as quais configuravam propriedades que o grupo havia previamente levantado e discutido sobre o sistema. Uma complementação dessas idéias, relacionando as condições ambientais com a forma em que a substância é encontrada foi apresentada em **M1a**. Em **M3**, os estudantes relacionaram adequadamente as forças de ligação entre os íons e a propriedade de o NaCl dissociar-se em íons em solução aquosa, enquanto em **M3b** ficou clara a relação entre os valores das energias entre os íons e a separação dos íons na fusão. Uma instância particular em que os estudantes consideraram propriedades relevantes foi a análise dos dados apresentados em atividades. Isto foi observado, por exemplo, quando os estudantes também apresentaram uma identificação adequada das propriedades cruciais, observando as tendências de formação dos íons (na Atividade 3) e do retículo cristalino (na Atividade 5) a partir dos valores de energias fornecidos nas atividades.

Na expressão do modelo **M2a**, contudo, foi possível identificar a integração de propriedades que não eram relevantes para a construção do modelo (2.4.2), nesse caso, a massa dos átomos que estavam sendo representados: “*cloro possui maior massa do que o sódio*”. Esta propriedade é irrelevante, especialmente porque os estudantes não consideraram o fator raio atômico – ou iônico – (propriedade que poderia ser, futuramente, relevante para a proposição de estruturas cristalinas com esses íons) e sim massa. Entretanto, este aspecto não comprometeu o desenvolvimento do modelo. Na expressão dos modelos que os estudantes identificaram as propriedades relevantes, julgamos que os aspectos destacados anteriormente pelo grupo foram considerados na elaboração de seus modelos e, ainda, que isto foi realizado de forma satisfatória, não sendo esquecido qualquer atributo necessário para atender os objetivos previamente definidos (4.1.1). Isto foi observado na expressão de todos os modelos deste grupo.

Os modelos desenvolvidos pelos alunos tiveram sua origem, em geral, nos modelos de energia e estabilidade, previamente conhecidos ou desenvolvidos durante as atividades (3.1.1), como o estabelecimento de analogia entre a energia empregada para a queima do magnésio e a energia para o funcionamento do flash de uma máquina fotográfica, na Atividade 1. Nas Atividades 2 e 3, os estudantes usaram seus conhecimentos prévios para interpretar a tendência de formação de íons com base nos valores de energia de ionização e afinidade eletrônica. Ainda, na expressão do modelo **M2a**, foi possível observar o emprego de conhecimentos prévios sobre atração entre cargas.

No processo de elaboração e expressão dos modelos dentro dos grupos, foi possível observar o emprego de expressão verbal (5.1.4.4), tanto escrita quanto falada. Esta foi associada a outras formas de representação, como a representação concreta (5.1.4.3), usada dentro do grupo no processo de elaboração do raciocínio. Na exposição dos modelos, essas duas formas – verbal e concreta (5.2.2.3.4 e 5.2.2.3.3) – foram recorrentes. Isto foi evidenciado na exposição realizada pelos estudantes sobre vários modelos: **M2**, **M2b**, **M3a**, **M3b**, **M3d**. Em **M2**, por exemplo, eles elaboraram representações com massinha e palito (figura 8), formando pares NaCl, as quais foram manipuladas durante as discussões no grupo e, em seguida, foram empregadas para auxiliar a exposição de suas idéias para a turma.

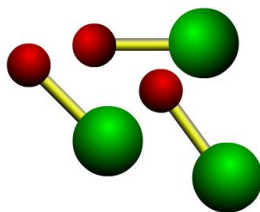


Figura 8. Modelo para os pares NaCl elaborado na atividade 3.

O uso da representação bidimensional (5.1.4.2) ficou restrito às atividades escritas e, em geral, tais representações configuraram desenhos das estruturas construídas concretamente pelos estudantes, como ocorreu em **M3d** (figura 9).

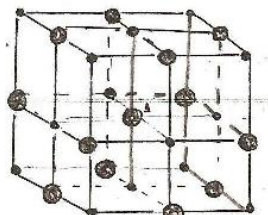


Figura 9. Representação do retículo cristalino do NaCl.

A representação simbólica (5.1.4.1) foi especialmente importante na proposição do modelo para explicar os valores da energia em um retículo cristalino (modelo **M3c**), no qual os estudantes efetuaram cálculos com os valores fornecidos na atividade.

Os momentos de exposição dos modelos para toda a turma ocorreram três vezes ao longo do processo: na Atividade 3 (modelo **M2a**, que foi complementado durante a apresentação levando a **M2b**), na Atividade 4 (modelo **M3b**) e na Atividade 5 (modelo **M3d**). Em todos esses momentos, a exposição dos modelos foi feita de forma clara pelo grupo (5.2.2.1). Uma vez que em outros momentos o grupo apresentou suas idéias para a professora, estes foram considerados na avaliação da clareza destas explicações, sendo todas elas realizadas de forma clara (5.2.2.1).

Os códigos empregados nas representações foram, em alguns momentos, discutidos pelo grupo (5.1.3), como ocorreu em **M2b** (no qual o estudante diferenciou seu modelo da ligação real, pontuando que a ligação não existe fisicamente como o palito) e **M3a** e **M3b** (nos quais os estudantes justificam o uso do termo molécula apenas para expressar a proporção). Em geral, eles fizeram uso de códigos como: bolinhas (ou circunferências) representando átomos e palitos (ou traços) representando ligação, as quais configuram códigos de representação usualmente empregados na Ciência e no ensino (5.1.1).

Nos momentos em que ocorreram testes dos modelos, os estudantes os fizeram a partir da análise da adequação de suas idéias às informações sobre o sistema, ou mesmo pela discussão entre os alunos, quando apareciam diferentes idéias (6.2.1 e 6.3.1), uma vez que, no grupo, os conhecimentos prévios de um indivíduo diferiam dos de outros. Nos testes mentais, os alunos criaram situações hipotéticas e verificaram se o modelo era adequado para explicar as respostas esperadas. Isto foi observado, por exemplo, em **M3**, em que os estudantes justificaram o fato de não existir moléculas no composto NaCl devido à separação em íons quando este composto é dissolvido em água. Neste exemplo, a condução do teste ocorreu no momento em que o estudante *rodou* em sua mente a situação em destaque, sendo capaz de chegar a conclusões adequadas. O mesmo ocorreu nos testes realizados para **M3a**, que levaram à elaboração da idéia de haver uma mesma distância entre os íons (*“não faz sentido um íon atrair outro com uma força e atrair um terceiro, exatamente igual, com força diferente”*), o que levou à formulação de **M3b**.

A verificação da abrangência e limitações do modelo (8.2.1) ocorreu quando os estudantes tiveram de aplicar seus modelos previamente construídos para explicar a elevada

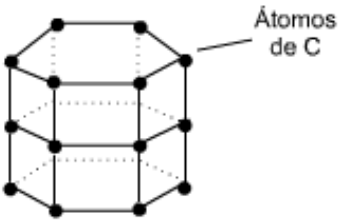
temperatura de fusão do cloreto de sódio e, ao mesmo tempo, a formação do retículo cristalino, em **M3d**. Além disso, em outros dois momentos, entre **M3c** e **M3d**, os estudantes identificaram limitações a partir de uma análise direta da adequação do modelo ao objetivo da atividade (8.1.1), sendo a primeira delas o fato de o modelo representar a ligação de apenas um íon por vez e, a segunda, a impossibilidade de representar todos os atributos do modelo por falta de conhecimento prévio dos próprios estudantes.

***Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino de Interações Intermoleculares***

O quadro a seguir representa o processo vivido pelo grupo 1 durante a construção do modelo para interações intermoleculares, com a identificação dos elementos relacionados ao processo de modelagem, a caracterização desses e dos modelos expressos. Associadas a cada um desses elementos, foram identificadas as subcategorias identificadas na análise (expressas através de seus códigos numéricos).

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	A professora enfatiza o objetivo da atividade: explicar a diferença das observações feitas no aquecimento do grafite e do iodo.	Definir os objetivos		*
	Os estudantes destacam suas observações sobre o sistema: o iodo virou um gás roxo e não aconteceu nada com o grafite.	Ter experiência com o alvo		2.1.1
	Os estudantes usam conhecimentos prévios sobre estabilidade para explicar o fenômeno observado: <i>“o iodo é menos estável que o grafite, então a ligação é mais fraca”</i> .	Ter experiência com o alvo		2.2.2
	Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1</b>	Quando o iodo mudou de fase não houve quebra de ligação, elas apenas foram enfraquecidas.	2.2.1 4.1.3 5.1.4.4
	Complementação do modelo <b>M1</b> , expressa verbalmente por um integrante do grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1a</b>	Quando o iodo mudou de fase houve quebra apenas da interação, não da ligação.	2.2.1 4.1.1 5.1.4.4
	Os estudantes usam evidências empíricas para corroborar o modelo proposto. <i>“Houve quebra apenas da interação, não da ligação, porque depois foi visto nas paredes do tubo os cristais de iodo igual ao iodo inicial.”</i>	Teste do modelo		2.4.1 6.3.1

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2</b>	No caso do grafite, o aquecimento aumentou a energia cinética, mas não foi suficiente para afastar as ligações e mudar a estrutura. Isso ocorreu porque a ligação é muito forte.	2.2.1 2.4.1 4.1.1 5.1.4.4
Atividade 2	A professora enfatiza o comando da atividade: modelar o que o aquecimento provoca em cada substância.	Definição dos objetivos		*
	Expressão verbal, gestual e concreta do modelo no grupo. O modelo concreto consistiu em duas bolinhas de massinha (idênticas) unidas por um palito.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1b</b>	Com o aquecimento ocorre a separação das moléculas de I <sub>2</sub> e, à medida que aumenta a temperatura, aumenta a energia delas.	3.1.1 4.1.1 5.1.4.3 5.1.4.5
	Complementação do modelo <b>M1b</b> , expressa verbalmente por um estudante.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1c</b>	O compartilhamento de elétrons em cada molécula forma uma nuvem. A ligação não é como o palitinho representado.	2.2.1 5.1.3
	Um estudante explica que a molécula pode ser representada pela ligação direta entre duas bolinhas ou, ainda, uma única bolinha pode ser considerada a molécula.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1c</b>		5.1.4

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 2	Apresentação do modelo <b>M1d</b> para a turma.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1d</b>	<i>“Durante o aquecimento não há quebra de ligação entre os átomos de I, por isso a molécula I<sub>2</sub> foi representada como uma única bolinha. Durante o aquecimento as moléculas de I<sub>2</sub> se afastam, passando a líquido (bem rapidamente) e gás. Ao final voltam a se aproximar porque nas paredes do tubo de ensaio volta a formar sólido”.</i>	3.1.1 4.1.1 5.2.1.1 5.2.2.1 5.2.2.3.3 5.2.2.3.4
	O grupo reconhece que não é possível explicar, com base em seu modelo, porque não volta a formar bolinhas de I <sub>2</sub> sólido.	Identificação de limitação do modelo		8.2.1
	Apresentação para a turma, com representação do modelo de forma concreta, com uso de bolinhas de massinha e palitos. Na atividade escrita, este modelo foi representado com desenho.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3</b> 	Grafite é formado por átomos de carbono que se ligam completando quatro ligações, formando uma macromolécula.	2.2.2 3.1.2 5.2.1.1 5.2.2.1 5.2.2.3.2 5.2.2.3.3 5.2.2.3.4
	O grupo justifica com base em seu modelo porque o grafite não muda com o aquecimento: <i>“porque as ligações covalentes são muito fortes”.</i>	Teste do modelo		3.1.1 6.3.1

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 2	Na apresentação para a turma, um estudante reconsidera o uso do termo molécula para o grafite.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3a</b>	<i>“O grafite não é molécula. A idéia de macromolécula é para dar a idéia de várias ligações formando a estrutura”.</i>	5.1.3 5.2.1.1 5.2.2.3.4
Atividade 3	A professora destaca que o próximo teste (teste do amido) a ser realizado é para tirar a dúvida se I <sub>2</sub> é molécula ou não.	Teste do modelo		*
	A professora fornece as seguintes informações: substâncias moleculares têm comportamento diferente de substâncias covalentes; as temperaturas de fusão dos compostos covalentes são bastante elevadas (T.F. do grafite é 3500°C e do diamante é 3850°C); para romper ligações covalentes tem que haver fornecimento de grande quantidade de energia; em compostos moleculares a energia gasta para mudanças de estado é bem menor se comparada a de compostos covalentes.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	A professora esclarece como funciona o teste do amido: <i>“No teste do iodo com o amido, a coloração formada tira a dúvida sobre o que é formado com o aquecimento do iodo: I<sub>2</sub> ou I isolado. O teste é específico para I<sub>2</sub>, e a coloração formada indica a presença de I<sub>2</sub>. I isolado não é facilmente encontrado porque ele não é estável”</i> .	Ter experiência com o alvo		*
Atividade 4	A professora dá outro exemplo de sólido molecular, o açúcar, apresenta sua fórmula como um carboidrato C <sub>12</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>11</sub> e direciona os estudantes para o teste do aquecimento do açúcar.	Avaliar abrangências e limitações do modelo		*
	Os estudantes destacam as observações realizadas: com o aquecimento do açúcar no tubo de ensaio, forma-se um gás que começa a “empurrar” o açúcar sólido para cima; há liberação de água quando o açúcar se carameliza.	Ter experiência com o alvo		2.1.1
	Um estudante corrige uma colocação feita anteriormente: <i>“Na verdade não se vê a água no aquecimento do açúcar, vê-se o vapor de água”</i> .	Ter experiência com o alvo		2.1.1



	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 4	Expressão verbal do modelo para a turma.	Elaboração e expressão do modelo <b>M5</b>	<i>“Na substância molecular há uma ligação forte entre os átomos e uma outra ligação, mais fraca, entre as moléculas. Quando é fornecida uma energia para quebrar a ligação entre as moléculas, se a ligação entre os átomos tiver energia próxima à ligação das moléculas, a energia fornecida também quebra a ligação entre os átomos”.</i>	4.1.1 5.2.1.1 5.2.2.1 5.2.2.3.4
	A professora ressalta as idéias consensuais dos modelos da turma: separação das moléculas de açúcar durante a fusão; separação de átomos na decomposição do açúcar; no caso do açúcar, a energia para separar as moléculas é próxima da energia para romper as ligações covalentes; iodo e sacarose são moléculas, mas há diferença de comportamento devido às diferenças de ligações e estruturas; a unidade elementar do iodo é a molécula I <sub>2</sub> .	Expressão do modelo consensual		*
Atividade 5	A professora introduz a próxima atividade destacando que os alunos devem usar seus modelos para pensar na diferença de comportamento de substâncias moleculares.	Consideração de abrangências e limitações do modelo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 5	Os estudantes interpretam a baixa temperatura de ebulição de alguns compostos moleculares afirmando que isto ocorre porque as interações são fracas.	Consideração de abrangências e limitações do modelo		8.2.1
	Os estudantes adicionam a questão do arranjo das moléculas e expressam seu modelo verbalmente no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M5a</b>	Os estudantes adicionam a questão do arranjo das moléculas nas diferentes substâncias para explicar a diferença de força entre as mesmas.	3.1.1 4.1.1 5.1.4.4

Quadro 5. Quadro representativo do processo de modelagem desenvolvido pelo grupo 1 na estratégia de ensino “*Modelo interações intermoleculares*”.

### ***Análise do processo vivido pelo grupo 1 durante a elaboração do modelo para Interações Intermoleculares***

Nessa terceira estratégia de ensino com atividades de modelagem, a definição dos objetivos do modelo foi apresentada pela atividade e reforçada pela professora, não sendo identificada ao longo da atividade qualquer ação dos estudantes no sentido de retomar ou esclarecer tais objetivos. Apesar disso, o desenvolvimento dos modelos pelos estudantes foi coerente com tais objetivos, o que demonstra uma compreensão adequada dos primeiros em relação aos últimos.

A observação das propriedades do sistema foi realizada de forma adequada pelos estudantes (2.1.1), em especial em relação às evidências empíricas, quando eles foram capazes de observar aspectos bastante relevantes para a posterior formulação dos modelos. Isto ocorreu desde a observação de características mais evidentes, como a liberação de gás roxo no aquecimento do iodo, até observações mais cautelosas, como a identificação de saída de água durante o aquecimento do açúcar e formação de carvão (este último identificado pela formação de resíduo preto no fundo do tubo de ensaio). Apenas em um momento foi identificada uma observação incoerente (2.1.2): na Atividade 4, durante a interpretação das evidências do aquecimento do açúcar, quando um estudante afirmou que *“resta O e H ligados aos carbonos ao final do aquecimento do açúcar, do contrário viraria carvão”*. O aquecimento do açúcar pode realmente levar à formação de carvão, e esta idéia foi introduzida por outros integrantes do grupo, a partir da própria evidência de o açúcar ficar preto ao final do aquecimento.

Em diversos momentos, foi possível identificar uma seleção coerente de conhecimentos (2.2.1), tanto na interpretação dos sistemas empíricos como para a elaboração de modelos. Por exemplo, em **M1** os estudantes associaram corretamente suas idéias prévias sobre a conservação da estrutura da substância na mudança de fase ao fato de não terem ocorrido quebras das ligações. Esta idéia foi melhor estruturada e confirmada em **M1a**, no qual os estudantes acrescentaram a idéia de que as interações é que foram quebradas. Conhecimentos prévios sobre energia cinética e aquecimento ficaram explícitos em **M2**, quando os estudantes alegaram que o aumento da energia cinética no aquecimento do grafite não foi suficiente para afastar as ligações e mudar a estrutura. Em **M1c**, os estudantes explicitaram o conhecimento de que a ligação é formada por elétrons. Seleção incoerente de conhecimentos (2.2.2) ocorreu em dois momentos específicos: no relacionamento entre a sublimação do iodo e a estabilidade de suas ligações (momento anterior a **M1**, quando alguns

estudantes associam o fato de o iodo sublimar às suas ligações serem mais fracas do que aquelas presentes na grafite, atribuindo, por isso, menor estabilidade ao iodo) e na atribuição de caráter molecular ao grafite (em **M3**, no qual os estudantes afirmam que os átomos de carbono formam uma macromolécula de grafite). A elaboração do modelo **M3** demonstra que os estudantes tinham um conhecimento prévio sobre a organização dos átomos na estrutura do grafite. Segundo afirmado por alguns membros do grupo, tal conhecimento se originava de representações vistas em livros de física. Contudo, este conhecimento prévio não garantiu uma explicação coerente para as propriedades da grafite. Acreditamos que isto decorreu de associações conceituais inadequadas, resultantes de os estudantes não terem avaliado ou não conhecerem o contexto de aplicação destes conhecimentos.

Apesar de os estudantes terem optado por desenvolver um modelo para o sistema do iodo e outro modelo para o sistema do açúcar, analisados separadamente é possível verificar que eles foram capazes de selecionar as propriedades cruciais para a elaboração desses (2.4.1), como evidenciado na elaboração de **M1d** (em que os estudantes apresentaram de forma completa o modelo para o aquecimento do iodo, afirmando que as moléculas não são rompidas, e sim que elas apenas se afastam durante o aquecimento); **M2** (em que os estudantes explicaram de forma adequada porque não se verificam alterações com o aquecimento da grafite) e **M4** (em que os estudantes explicaram a caramelização e a decomposição do açúcar com o aquecimento).

A identificação dos modelos prévios que contribuíram para o modelo desenvolvido pelo grupo foi possível, na maior parte das vezes, apenas via expressão do modelo. Esta correlação com modelos prévios foi adequada (3.1.1) na elaboração dos modelos **M1b** e **M1d** (em que os estudantes claramente empregaram o modelo cinético-molecular para explicar o afastamento das partículas durante o aquecimento) e **M5a** (em que os estudantes integraram a idéia de existência de arranjos diferenciados nas substâncias). No teste do modelo **M3**, também foi possível identificar uma seleção adequada de modelo prévio quando os estudantes associaram o fato de não ocorrer alterações na grafite durante o aquecimento ao fato de as ligações covalentes serem fortes. Uma seleção incoerente de modelos prévios (3.1.2) ocorreu em função da seleção inadequada de conhecimentos na elaboração de **M3**, em que os estudantes associaram a estrutura da grafite a macromoléculas.

Na elaboração da maioria dos modelos, os estudantes identificaram todos os aspectos teóricos e empíricos relevantes (4.1.1). Por exemplo, em **M1a** os estudantes consideraram aspectos previamente discutidos sobre a diferença entre ligação e interação, enquanto em

**M1b** tais idéias foram complementadas associando-se a separação ao aumento da energia das moléculas. Na elaboração de **M1d**, os estudantes haviam discutido outras idéias, as quais foram agregadas neste modelo, como a analogia com o modelo cinético-molecular. A partir desta analogia, os estudantes representaram como o afastamento das moléculas aumenta com o aumento da temperatura. Em **M4**, eles explicaram os fenômenos observados no aquecimento do açúcar considerando discussões prévias sobre a força das ligações interatômicas e das interações intermoleculares. As idéias sobre mudança de estado físico e decomposição de substâncias moleculares foram generalizadas e apresentadas em **M5**, sendo esta generalização complementada por idéias apresentadas em **M5a**. Contudo, em **M1**, os estudantes não apresentaram idéias consistentes que explicassem a saída do vapor de iodo (4.1.3), não sendo capazes de diferenciar as ligações existentes no composto.

Em todos os casos, a expressão do modelo ocorreu de forma verbal (5.1.4.4), acompanhada de representação tridimensional (5.1.4.3): em **M1b** (apenas duas bolinhas idênticas, feitas de massinha, ligadas por um palito) e **M1d** (bolinhas de isopor, cada uma representando uma molécula de  $I_2$ , que foram afastadas durante a explicação, representando o que ocorre durante o aquecimento); e gestual (5.1.4.5), em **M1b** (quando os estudantes agitaram os pares de bolinhas de massinha, indicando maior energia cinética das moléculas). O uso de representação bidimensional ficou restrito às atividades escritas, sendo apresentados modelos para as estruturas dos compostos, como ocorreu para o grafite em **M3** (figura 10) e para o açúcar em **M4**.

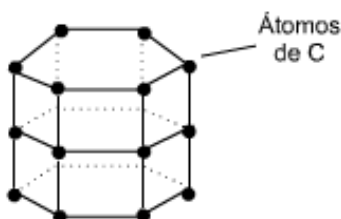


Figura 10. Representação para a estrutura da grafite.

A socialização dos modelos para a turma ocorreu em dois momentos, envolvendo **M1d** (modelo para o aquecimento do iodo) e **M3** (modelo para a estrutura da grafite como macromolécula). Durante a apresentação deste último modelo, o grupo reconsiderou o uso do termo molécula para a grafite, afirmando que esta substância não é formada por moléculas (idéia que constituiu **M3a**). A passagem de **M3** a **M3a** ocorreu, portanto, devido à identificação de uma limitação na expressão (5.1.3). Em outro momento, o grupo apresentou o modelo **M5** para a turma, explicitando uma generalização sobre as ligações e interações presentes nas

substâncias moleculares. Todos esses os modelos foram apresentados de forma clara (5.2.2.1) e com justificativas coerentes (5.2.1.1).

O teste dos modelos ocorreu com análise adequada (6.3.1). Por exemplo, no teste de **M1a**, os estudantes usaram uma propriedade observada no experimento empírico (a cristalização do iodo nas paredes do tubo) para afirmar que, no aquecimento do iodo, houve quebra apenas de interações entre as moléculas. A análise dos dados teóricos também foi empregada pelos estudantes no momento de testes, como ocorreu em **M2b**. O modelo **M3** também foi testado através de sua utilização para explicar as evidências empíricas previamente observadas (a não alteração do grafite com o aquecimento).

Durante o processo, ocorreram dois momentos em que o grupo considerou a abrangência e as limitações dos modelos, o que foi realizado de forma adequada em ambos os casos. Tais situações se referiram à aplicação de seus modelos em outros contextos (8.2.1). No primeiro caso, os estudantes identificaram uma limitação no modelo **M1d**, uma vez que não foi possível, a partir dele, explicar porque o iodo não volta a formar bolinhas após o aquecimento. Em outro momento, eles tiveram de aplicar o modelo **M5** para explicar as temperaturas de fusão e ebulição de alguns compostos moleculares, sendo verificada a abrangência do modelo previamente construído para a situação colocada.

### ***Análise dos processos de modelagem vividos pelo grupo 1***

Ao longo das três estratégias de ensino, foi possível observar similaridades e diferenças em relação à condução do processo de modelagem vivido pelo grupo 1. Uma primeira observação pode ser feita em relação à diferença de conhecimentos acessados pelos estudantes ao longo das três atividades, principalmente da primeira atividade para as duas seguintes. No desenvolvimento do modelo para a cola, os estudantes acessaram com mais frequência seus conhecimentos prévios em relação a propriedades macroscópicas do sistema e, a partir disso, desenvolveram seus modelos no nível submicroscópico para explicar o funcionamento daquele sistema (a super cola). Os dois processos de modelagem seguintes, apesar de se iniciarem sempre com o desenvolvimento de atividades experimentais com observações empíricas bastante nítidas, envolveram mais conhecimentos teóricos dos estudantes, evocando modelos prévios associados principalmente à ligação, energia e estabilidade. Esta diferença pode estar associada à abordagem das próprias atividades e/ou às informações fornecidas por essas, uma vez que a primeira estratégia de ensino (“Por que a cola cola?”) fornece poucas informações sobre o sistema e, ainda assim, essas são associadas a características do funcionamento da super cola (fenômeno que encontra similares no cotidiano dos alunos). Por outro lado, as

próprias atividades envolvidas nas outras duas estratégias de ensino (“Modelo para ligação iônica” e “Modelo para interações intermoleculares”), e também a professora, forneceram informações associadas a propriedades submicroscópicas do sistema, como energia de ligações, energia de ionização, entre outras informações.

A construção de modelos para a ligação iônica e interações intermoleculares foi acompanhada de questionamentos à professora, o que não ocorreu na primeira estratégia. Isto deve estar associado ao maior grau de abstração dos modelos na segunda e terceira estratégias de ensino e/ou aos poucos conhecimentos prévios (o que inclui conhecimentos cotidianos) sobre tais sistemas. Poucas vezes foi observado a seleção ou uso inadequados de idéias e modelos prévios pelos estudantes. Nos momentos em que isso foi observado, os estudantes estabeleceram relacionamentos inadequados entre propriedades do sistema e seus conhecimentos prévios ou, ainda, estabeleceram relações inadequadas entre o sistema em estudo e modelos previamente estudados, como ocorreu ao mencionarem o par NaCl como molécula.

Os estudantes desenvolveram os modelos concretos principalmente visando os momentos de socialização com a turma, sendo menos recorrente (mas ainda presente) o uso desses ao longo das discussões no grupo. O uso dos modelos concretos nos momentos de socialização pode estar associado ao reconhecimento, por parte dos estudantes, do potencial dessa forma de expressão. Isto pode ser afirmado porque, apesar de as atividades terem solicitado a elaboração e expressão de modelos, os estudantes tiveram liberdade, na maior parte destas, de optar pelo modo de representação que o grupo utilizaria, não sendo obrigatória a utilização do modo concreto de expressão.

A expressão verbal foi mais comumente observada ao longo do processo e, nas atividades escritas, foi freqüente o uso de expressão bidimensional, com desenhos representando os sistemas submicroscópicos, associados à expressão verbal dos modelos. O uso de representação de átomos por bolinhas e de ligações por palitos – uma forma de representação amplamente empregada em química – foi bastante freqüente. A criação de novos códigos de representação esteve presente nos processos deste grupo na primeira e na terceira estratégias de ensino, contudo tais elaborações não estiveram muito distantes daquelas empregadas convencionalmente na química.

Ao longo das atividades, os estudantes demonstraram maior desenvoltura no processo de elaboração de seus modelos, principalmente reconhecendo a existência de limitações nos

mesmos e de limitações em seus conhecimentos prévios, como foi possível identificar pela fala de um deles:

*“Mas a gente não tem que explicar porque. Tem muita coisa que a gente não sabe, que a gente não consegue explicar. A gente só precisa saber que tem mais de uma ligação.”*

Na estratégia de interações intermoleculares, apesar de os estudantes desenvolverem seus modelos de forma separada para os dois sistemas, elaborando modelos intermediários que contemplavam parcialmente as propriedades de cada sistema em estudo, os modelos finais se mostraram bastante completos, contemplando os objetivos do mesmo e integrando as propriedades e informações destacadas ao longo das discussões com a professora e com toda a turma.

O teste dos modelos ocorreu poucas vezes por iniciativa dos próprios estudantes, sendo algumas vezes estimulado pela professora ou pela própria atividade de ensino. Isso pode estar associado ao fato de os estudantes avaliarem a plausibilidade de seus modelos apenas pela capacidade de eles atenderem aos objetivos propostos. Não acreditamos ser possível associar esta ausência de testes a uma dificuldade dos estudantes na condução dos mesmos uma vez que, quando os testes foram propostos pelas atividades, eles foram capazes de conduzi-los adequadamente.

A consideração da abrangência e das limitações dos modelos ocorreu poucas vezes e, em geral, foi iniciada pela professora ou pela própria atividade, sem a iniciativa do grupo nesse sentido. A falta de consideração sobre a abrangência e limitações dos modelos pode estar associada à falta de percepção dos estudantes sobre a necessidade dessa ação ou, ainda, ao fato de eles considerarem o uso de seus modelos restrito ao contexto de ensino. Outra possibilidade pode relacionar-se à forma de condução das atividades de ensino. Em todas elas, após a socialização dos modelos dos grupos, a professora fez considerações sobre aspectos relevantes dos modelos, buscando estabelecer (sempre que possível) um modelo consensual da turma, o qual contemplava os aspectos que a professora objetivou que fossem desenvolvidos a partir das atividades. Isto, contudo, não é colocado aqui como uma crítica ao processo de ensino, uma vez que reconhecemos a necessidade de os estudantes aprenderem o modelo curricular, isto é, de desenvolverem o conhecimento que faz parte do currículo escolar.

## **Análise dos Processos de Modelagem vivido pelo Grupo 2**

### ***Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino “Por que a cola cola?”***

O quadro a seguir representa o processo vivido pelo grupo 2 durante a construção do modelo para “Por que a cola cola?”, com a identificação dos elementos relacionados ao processo de modelagem, a caracterização desses e dos modelos expressos. Associadas a cada um desses elementos, foram identificadas as subcategorias identificadas na análise (expressas através de seus códigos numéricos).

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Um estudante questiona os objetivos do modelo: <i>“A cola vai colar papel com outro papel e madeira com outra madeira?”</i>	Definição dos objetivos do modelo		1.1.1
Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1</b>	O que faz as substâncias ligarem é a quantidade de cargas.	3.1.2 4.1.3 5.1.5.4
Um estudante faz um questionamento enfatizando um dos objetivos do modelo: <i>“Por que essa cola é para papel?”</i>	Definição dos objetivos do modelo		1.1.1
Os estudantes discutem, analisando as propriedades do sistema e definindo a função da cola: <i>“Por que o papel não liga, por exemplo, direto com esta madeira?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.1.1
Um estudante usa conhecimentos prévios (modelo de interações de cargas) para explicar o funcionamento do sistema: <i>“O papel não se liga diretamente à madeira porque ambos possuem carga positiva.”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.2
Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1a</b>	A cola tem que ser eletricamente carregada para colar.	3.1.2 4.1.3 5.1.4.4

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Outro estudante complementa o modelo anterior por meio de expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1b</b>	A ligação depende das quantidades iguais de cargas para ocorrer, do contrário vai sobrar ou faltar elétrons.	3.1.2 4.1.3 5.1.4.4
Identificação de propriedades do sistema a partir de conhecimentos prévios. <i>“O papel não vai interagir com outro papel. Ele vai interagir só com a cola.”</i>	Ter experiência com o alvo		2.1.1
Um estudante ressalta características do sistema, baseado em conhecimentos prévios sobre o mesmo e modelos prévios sobre ligação. <i>“Um átomo não se liga só a um átomo, ele se liga a outros. O papel pode ligar a outras coisas.”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.2
Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1c</b>	A cola “pega” os elétrons que estão sobrando no papel e interage com os mesmos.	2.2.2 3.1.2 4.1.3 5.1.4.4
Um estudante usa conhecimentos prévios para refutar as idéias do modelo anterior e levantar propriedades submicroscópicas do sistema: <i>“O papel já é feito de ligações. Ele não precisa se ligar com nada para ficar estável. Ele está neutro e não tem elétrons sobrando.”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.1

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Um estudante estabelece uma analogia entre a formação da ligação na molécula de água e a ligação do papel com a cola. Apesar de os átomos de oxigênio e hidrogênio terem o mesmo número de elétrons e prótons, não faltando ou sobrando carga, eles se ligam.	Selecionar a origem do modelo		3.1.2
Os estudantes usam seus conhecimentos prévios para levantar características sobre as ligações no papel. Eles comparam o papel à molécula de água já formada, no sentido de que o papel, assim como a molécula de água, é neutro e não tem ligações por fazer.	Selecionar a origem do modelo		2.2.1
O grupo analisa seu modelo com base em conhecimentos prévios: <i>“Então porque o sal se dissolve na água?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.2
Identificação de limitação dos conhecimentos prévios selecionados: <i>“O sal na água é dissolução, não ligação. Este exemplo não se aplica ao caso da cola.”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.1
Uso de modelos prévios para testar a viabilidade do modelo proposto anteriormente: <i>“Se o papel é neutro, como ele vai ficar iônico de repente?”</i>	Teste mental do modelo		6.1.1 8.1.1

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Os estudantes estabeleceram uma analogia com a dissolução do sal em água para explicar a existência de cargas no papel e na cola: haverá separação de cargas em função do meio aquoso.	Selecionar a origem do modelo		3.1.1
Os estudantes estabelecem uma analogia entre a ligação entre átomos e a ligação da cola com o papel: <i>“Para colar o papel tem que ficar estável, com oito elétrons na última camada.”</i>	Selecionar a origem do modelo		3.1.2
Expressão verbal e gestual do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1d</b>	A cola teria uma substância que criaria uma carga na superfície do papel.	3.1.1 4.1.3 5.1.4.4 5.1.4.5
Um estudante retoma um objetivo da atividade: <i>“A gente tem que trabalhar com isso: o que está unindo os papéis.”</i>	Definição dos objetivos do modelo		1.1.1 2.4.2
Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1e</b>	O papel estaria neutro e a cola estaria ionizada. Então, ela vai provocar uma atração muito forte com o papel.	3.1.1 4.1.3 5.1.4.4

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Expressão do modelo final, no grupo e para a professora, com uso de representação verbal.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1f</b>	<p>A cola e o papel, em contato com o meio aquoso, ionizam. <i>“Para haver uma interação perfeita entre a cola e o papel, a cola deve ter uma quantidade de íons em dobro que os íons do papel, pois a cola liga dois papéis”.</i></p> <p>A interação dos íons do papel é mais energética do que dos íons do papel com a cola. Então, quando eles se ligam (papel e cola) há uma liberação de energia em forma de calor, que faz a água evaporar e torna a ligação da cola e do papel estável. A cola é específica para papel e madeira porque eles apresentam substâncias em comum e a cola foi calculada com base nos íons das substâncias que formam o papel e a madeira.</p>	<p>3.1.1</p> <p>3.1.2</p> <p>4.1.1</p> <p>5.1.2</p> <p>5.1.4.4</p> <p>5.2.1.1</p> <p>5.2.2.1</p> <p>5.2.2.3.4</p> <p>6.1.3</p> <p>8.2.3</p>

Quadro 6. Quadro representativo do processo de modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino *“Por que a cola cola?”*.

***Análise do processo vivido pelo grupo 2 durante a aplicação da estratégia de ensino “Por que a cola cola?”***

O grupo iniciou o processo de modelagem tentando compreender o que exatamente o modelo construído deveria representar. Para isso, um estudante direcionou à professora um questionamento considerado coerente e relevante (1.1.1) para a resolução da atividade, demonstrando uma adequada compreensão sobre o objetivo da mesma: *“A cola vai colar papel com outro papel e madeira com outra madeira?”*. Os objetivos da atividade foram retomados mais duas vezes durante o processo, por meio de um questionamento (*“Por que essa cola é para papel?”*) e um comentário (*“A gente tem que trabalhar com isso: o que está unindo os papéis.”*), os quais foram coerentes e relevantes (1.1.1) para enfatizar aspectos que deveriam ser considerados no modelo. Ao longo da estratégia, os estudantes se concentraram em explicar como ocorriam as interações para promover a colagem e, devido a isso, na maior parte do processo eles não discutiram as características específicas daquela cola (2.4.2): os fatos de ela ser forte e instantânea. Contudo, é possível afirmar que eles apresentaram uma adequada compreensão dos objetivos do modelo uma vez que, no modelo final (**M1f**), esses aspectos foram satisfatoriamente contemplados.

A observação das propriedades do sistema ocorreu por meio da análise do enunciado da atividade e pela associação desse sistema aos conhecimentos prévios que os estudantes tinham a respeito de outras colas. Nesse sentido, eles destacaram adequadamente características do sistema em estudo (2.1.1), como a função da cola entre os materiais, como pode ser observado nas seguintes falas: *“Por que o papel não liga, por exemplo, direto com esta madeira?”* e *“O papel não vai interagir com outro papel. Ele vai interagir só com a cola.”*

Para o desenvolvimento dos modelos, os estudantes basearam suas idéias em conhecimentos prévios sobre ligações, principalmente associando a interação entre cargas e estabilidade eletrônica a partir do modelo do octeto. O uso do modelo do octeto, neste caso, constituiu uma seleção incoerente de conhecimentos (2.2.2), uma vez que os estudantes aplicaram um modelo de ligações interatômicas (que leva em conta a estabilidade das espécies envolvidas em função da configuração eletrônica) para explicar um processo de interação entre materiais. Nesse caso, eles justificaram a formação da interação estabelecendo uma comparação com o que ocorre na ligação entre átomos: *“Um átomo não se liga só a um átomo, ele se liga a outros. O papel pode ligar a outras coisas.”*. Esta idéia resultou na elaboração do modelo **M1c**, no qual os estudantes afirmaram que a cola “pega” os elétrons que estão sobrando no papel e interage com os mesmos. Em outro momento, eles buscaram

explicar a formação das ligações entre a cola e o papel a partir de um sistema previamente conhecido: o sal dissolvido na água; o que também constituiu uma seleção inadequada de conhecimentos (2.2.2). Estas seleções inadequadas foram devidamente corrigidas ao longo das discussões nos grupos, quando outros integrantes salientaram as incoerências na aplicação de tais idéias. Por exemplo, após a expressão do modelo **M1c**, um estudante deste grupo apresentou a limitação de aplicação do modelo de ligação interatômica para o sistema em estudo, afirmando que: *“O papel já é feito de ligações. Ele não precisa se ligar com nada para ficar estável. Ele está neutro e não tem elétrons sobrando.”*, sendo esta idéia retomada posteriormente na discussão.

A idéia de interação entre cargas, inadequadamente selecionada pelos estudantes (2.2.2), levou ao estabelecimento de analogias inadequadas entre o sistema em estudo e os modelos prévios (3.1.2), o que resultou, por exemplo, na formulação de modelos incoerentes com a idéia de neutralidade de cargas dos materiais. Isto foi observado em **M1** (no qual os estudantes afirmaram que o que faz as substâncias ligarem é a quantidade de cargas), **M1a** (que trouxe a idéia de que a cola tem que ser eletricamente carregada para colar), **M1b** (no qual os estudantes confundiram as idéias de equilíbrio de cargas com a formação da interação na cola, afirmando que a ligação depende de quantidades iguais de cargas para ocorrer, pois, do contrário iria sobrar ou faltar elétrons), **M1c** (no qual os estudantes afirmaram que a cola “pega” os elétrons que estão sobrando no papel e interage com os mesmos) e **M1f** (no qual os estudantes propuseram que *“Para haver uma interação perfeita entre a cola e o papel, a cola deve ter uma quantidade de íons em dobro que os íons do papel, pois a cola liga dois papéis.”*).

Mesmo fora do contexto de expressão dos modelos, foram percebidos momentos em que os estudantes estabeleceram analogias inadequadas (3.1.2), como observado na discussão que sucedeu a expressão do modelo **M1c**, em que um estudante estabeleceu uma analogia entre a formação da ligação na molécula de água e a ligação do papel com a cola. Neste momento, ficou clara a confusão sobre a ocorrência de ligação e o equilíbrio de cargas nas espécies. Isto foi observado porque o estudante baseou sua analogia no fato de o oxigênio e o hidrogênio se ligarem *“mesmo com ambos tendo o mesmo número de prótons e elétrons”*, o que justificaria o papel, mesmo sendo neutro, fazer ligações. Ao longo da discussão, o estabelecimento inadequado de analogia foi explicitado em outro momento, neste caso com o modelo do octeto, em que os estudantes afirmaram que *“Para colar o papel tem que ficar estável, com oito elétrons na última camada”*.

O estabelecimento de analogias adequadas (3.1.1) também foi observado, mas em menor frequência. É importante esclarecer que esta classificação foi atribuída ao emprego e análise adequados de modelos prévios ao sistema em estudo, não configurando resposta *correta* segundo moldes que pudessem ser previamente estabelecidos. Por exemplo, a idéia da dissolução do sal na água foi selecionada de forma inadequada em determinado momento. Entretanto, os estudantes conseguiram, posteriormente, empregar este modelo para explicar, de forma adequada, a formação de cargas na cola quando esta última está em meio aquoso. Esta idéia foi empregada na elaboração de **M1d**, **M1e** e **M1f**.

A presença de todos os atributos da cola na composição do modelo (4.1.1), explicando sua especificidade para papel e madeira, sua força e o fato de ela ser instantânea, apareceram somente no modelo final **M1f**, principalmente expresso na atividade escrita. Nos modelos anteriores, de **M1** a **M1e**, observou-se o emprego de apenas algumas propriedades na integração do modelo (4.1.3), uma vez que o foco dos estudantes esteve em desenvolver modelos capazes de explicar o funcionamento da interação da cola de uma forma geral, desconsiderando os outros atributos específicos apresentados na atividade. Por exemplo, em **M1** e **M1a**, os estudantes não consideraram no modelo a explicação associada ao material envolvido (papel e/ou madeira), apesar de isso ter sido explicitado pela atividade, inclusive sendo foco de questionamento de um estudante (“*A cola vai colar papel com outro papel e madeira com outra madeira?*”). Esta observação se repete para os modelos **M1b** e **M1c**, em que os estudantes enfatizaram apenas a necessidade de existência de cargas na cola para que ocorresse a interação. Em **M1d**, os estudantes começaram a considerar o papel como substância participante e/ou interferente no processo de colagem. Naquele modelo, os estudantes afirmaram que a cola teria uma substância que criaria uma carga na superfície do papel. Entretanto, as demais propriedades da cola apresentadas na atividade não foram consideradas. Isto também foi observado em **M1e**, em que os estudantes afirmaram que o papel estaria neutro e a cola estaria ionizada e, por isso, ela provocaria uma atração muito forte com o papel.

Os modelos elaborados pelos estudantes não foram socializados com a turma, sendo a expressão dos mesmos avaliada em função das discussões no grupo, no momento de exposição de idéias para a professora ou na atividade escrita. No grupo, a expressão do modelo ocorreu principalmente de forma verbal (5.1.4.4) e, apenas em um momento, em **M1d**, gestual (5.1.4.5). O uso da expressão gestual configurou apenas um artifício empregado para enfatizar a fala, momento em que a estudante fez um gesto passando a mão sobre uma

folha de papel, de modo a enfatizar que a carga seria criada na *superfície*. O uso restrito da expressão gestual pode ter sido consequência de os estudantes terem criado modelos mais abstratos (no nível submicroscópico) e focado pouco nas características físicas do sistema.

A expressão do modelo ocorreu de forma clara (5.2.2.1) e com justificativas coerentes (5.2.1.1), apesar de ter permanecido uma idéia inadequada sobre a existência de íons na cola e/ou no papel. Contudo, a análise foi realizada sobre a coerência na articulação dos modelos pelos estudantes, sem avaliar a proximidade desses modelos dos cientificamente aceitos.

Na exposição do modelo **M1f** para a professora, os estudantes fizeram uso exclusivo de representação verbal (5.2.2.3.4), a qual foi a única forma empregada na atividade escrita.

O teste do modelo ocorreu em momento único ao longo da atividade, após a expressão de **M1c**, quando um estudante propôs o questionamento: “*Se o papel é neutro, como ele vai ficar iônico de repente?*”. Este questionamento foi coerente (6.1.1) e, apesar de não ter sido verificada resposta ou análise desta questão nos dados coletados, o caminho seguido pelos estudantes mostrou que foi identificada uma limitação do modelo (8.1.1), com posterior adequação para a elaboração do **M1d**, no qual os estudantes integram a idéia de que a cola seria capaz de criar cargas no papel.

#### ***Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino de Ligação Iônica***

O quadro a seguir representa o processo vivido pelo grupo 2 durante a construção do modelo para ligação iônica, com a identificação dos elementos relacionados ao processo de modelagem, a caracterização desses e dos modelos expressos. Associadas a cada um desses elementos, foram identificadas as subcategorias identificadas na análise (expressas através de seus códigos numéricos).

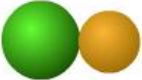
	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	A professora representa a equação para a queima do magnésio: $\text{Mg(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{MgO(s)}$	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante questiona a professora sobre o que ocorre no sistema: <i>“O que acontece é que, com o fogo, o magnésio pega o oxigênio e faz o óxido?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	Os estudantes propõem que a chama promove a reação.	Ter experiência com o alvo		2.1.1
	O grupo questiona à professora: <i>“Enquanto está reagindo está liberando energia, não é?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.1 2.3.1
	O grupo confirma com a professora a idéia de que a pilha/energia elétrica é responsável por promover a reação no flash da máquina fotográfica.	Ter experiência com o alvo		2.2.1 2.3.1
	Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1</b>	O magnésio é estável, mas com energia ele pode reagir com o oxigênio e virar o óxido de magnésio, que é mais estável do que o magnésio porque ele não reage mais.	2.4.1 3.1.1 4.1.1 5.1.4.4

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	A professora informa que ser mais estável é ser menos energético.	Ter experiência com o alvo		*
	A professora enfatiza a necessidade de energia para ocorrência de reação: <i>“O fogo foi uma forma de energia necessária para promover a quebra de ligações entre os átomos nessas substâncias. E quando esses átomos não estavam mais na substância eles poderiam se ligar formando uma nova substância, o MgO.”</i>	Ter experiência com o alvo		*
	A professora informa que a disponibilidade das substâncias e a forma como elas são encontradas depende das condições de pressão, da presença de oxigênio (entre outros).	Ter experiência com o alvo		*
	Os estudantes destacam as observações sobre o experimento: <i>“O magnésio reagiu, liberou luz e virou um pó branco. O aparecimento de luz indica liberação de energia.”</i>	Ter experiência com o alvo		2.1.1 2.2.1
	Os estudantes questionam a professora: <i>“Quando é reversível ou irreversível tem a ver com essa variação de energia?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1

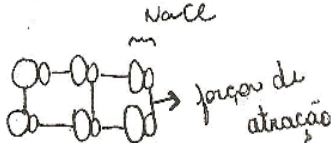
	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	Um estudante faz questionamentos sobre o sistema à professora: <i>“A ligação do magnésio pode ser, ao mesmo tempo, mais forte e gastar menos energia? A energia no MgO é menor, não é? Tanto que vai liberar energia (...) vai sobrar energia.”</i>	Ter experiência com o alvo		2.2.1 2.3.1
	A professora informa que o MgO tem menor conteúdo energético do que Mg e O <sub>2</sub> e, por isso, é mais estável. Portanto, pode-se pensar que as ligações são mais fortes e a estabilidade vai depender da liberação de energia.	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante questiona a professora: <i>“Por que o magnésio vai se ligar ao oxigênio? Ele adivinha que vai ser mais estável?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	A professora fornece uma série de informações sobre o sistema: o metal é mais estável quando ligado a um ânion; para formar uma substância ocorre abaixamento de energia, e para ser formada e mantida tem que haver condições favoráveis para isso; a variação de energia interfere no processo de ser reversível ou não; a situação menos energética é a mais estável.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 1	A professora delimita os aspectos que os estudantes deverão observar ao propor um modelo para explicar uma reação química: mecanismo da ligação (variação da energia); estequiometria do composto e o número de ligações; estrutura da substância.	Definição dos objetivos do modelo		*
	A professora apresenta um modelo teórico sobre a formação de ligações (diagrama do poço de potencial) e enfatiza que a ligação ocorre quando há equilíbrio entre forças atrativas e repulsivas entre os átomos na ligação.	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante questiona o modelo teórico apresentado pela professora: <i>“Como é isso? Os núcleos vão se repelir até não mais ter molécula?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
Atividade 2	A partir de seus conhecimentos prévios e dos dados fornecidos na atividade, os estudantes concluem que o ânion $\text{Cl}^-$ é o mais estável porque a energia de ionização dele é alta, assim como sua afinidade eletrônica.	Ter experiência com o alvo		2.2.1
	A professora ressalta a diferença entre o modelo teórico para ligação e os valores empíricos.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 2	A professora destaca os objetivos do modelo: explicar como o NaCl é formado a partir das substâncias simples Na(s) e Cl <sub>2</sub> (g), ou seja, pensar em um modelo para formação e ligação dos íons.	Definir o objetivo do modelo		*
	A professora interpreta os valores de A.E. e E.I. em relação à formação de cátions ou ânions, tomando por base os processos representados por Na(s) → Na(g) e ½ Cl <sub>2</sub> (g) → Cl(g).	Ter experiência com o alvo		*
	Além dos valores de A.E. e E.I., a professora analisa a estabilidade dos íons pela presença de 8e <sup>-</sup> no último nível.	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante questiona: “Quando tem que perder dois elétrons, a energia para arrancar o segundo elétron é mais alta mesmo quando é favorável perder dois elétrons?”	Ter experiência com o alvo		2.3.1

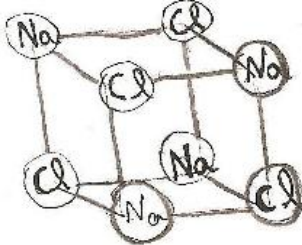
	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	Apresentação do modelo para a turma. Representação do par NaCl com duas bolinhas de massinha (de cores e tamanhos diferentes) unidas diretamente. O grupo ressalta que os átomos não são bolinhas, que elas são só representações.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2</b> 	Com a evaporação da água, os íons vão deixar de estar dissolvidos. Ficarão uma carga negativa, uma carga positiva e eles vão se atrair.	3.1.1 4.1.1 5.1.1 5.1.3 5.1.4.3 5.1.4.4 5.2.1.2
	A professora questiona ao grupo: <i>“O sólido seria formado por moléculas de NaCl? A interação entre as moléculas seria menor do que a ligação, mais fraca do que a ligação? Ou é a mesma coisa?”</i>	Teste do modelo		*
	Elaboração do modelo na tentativa de explicar o questionamento da professora. Expressão verbal do modelo para a turma.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2a</b>	<i>“A ligação é bem forte, porque estava aquoso, aí para juntar, para virar sólido, a força entre elas tem que estar muito grande.”</i>	2.2.1 5.1.4.4 5.2.1.1
	A professora fornece a informação de que no líquido também tem interação entre cargas, mas que os íons estão mais desorganizados.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	Expressão verbal do modelo.	Expressão do modelo <b>M2b</b>	A estabilidade do NaCl se dá pela liberação de energia no processo global. Há a idéia de molécula, pois o grupo acredita que se fosse atração por íons o sal deveria formar um grão gigante, pois <i>“sempre vai ter uma carga para atrair outra.”</i>	3.1.1 4.1.1 5.1.4.4 6.1.1 6.3.2
	A professora fornece a informação de que existe apenas um tipo de energia de ligação na estrutura do NaCl.	Ter experiência com o alvo		*
	Após discussões, ocorre a expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2c</b>	A atração entre as moléculas ocorre até determinado ponto em que a estrutura fica estável. Por isso não forma o <i>“grão gigante”</i> .	4.1.1 5.1.4.4 5.2.1.1
	Os estudantes calculam os valores de energia na formação da ligação NaCl. Expressão verbal e simbólica (com cálculos de energia) do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2d</b>	<i>“Para formar o NaCl, o Na perde a energia que recebeu para formar Na<sup>+</sup> e o Cl<sup>-</sup> absorve a energia que foi liberada. Como um tem um elétron a mais e o outro tem um a menos, vai haver uma doação. Ia sobrar 375,8 de energia.”</i>	2.2.1 2.4.1 3.1.2 4.1.2 5.1.4.1 5.1.4.4

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	A professora informa que o retículo se forma com um determinado número de ligações resultando na formação de uma estrutura mais estável, com abaixamento de energia.	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante questiona: “E este número de ligações está associado a que?”	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	A professora informa que o número de ligações está associado a uma estrutura que maximiza as forças atrativas e minimiza as repulsivas.	Ter experiência com o alvo		*
Atividade 4	Expressão verbal e concreta do modelo na turma. No modelo concreto, há a representação de pares de bolinhas de massinha conectados por palitos.	Expressão do modelo <b>M2e</b> 	A distância representa força: quanto maior a distância menor a força.  A interação é grande porque está em uma forma mais estável. “Esta interação é do tipo eletrostática, pois as moléculas ainda têm cargas positiva e negativa, e são muito fortes porque têm valores iguais.”  Na fusão, os pares de NaCl não são rompidos. O fato de a T.F. ser alta é explicado pela força de interação entre essas moléculas. Essa força é propiciada pela estabilidade das moléculas.	2.2.2 3.1.2 4.1.1 5.1.4.2 5.1.4.4 5.2.1.3 5.2.2.3.3 5.2.2.3.4

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 4	Uma aluna do grupo 1 critica o modelo apresentado, afirmando que se a molécula é estável, a temperatura de fusão não deveria ser tão alta, porque a atração entre as moléculas deveria ser menor, uma vez que a molécula em si é estável.	Teste do modelo		*
	Expressão verbal do modelo no grupo.	Expressão do modelo <b>M2f</b>	Pelo fato de a molécula ser estável, a força de atração entre elas é alta. Elas não vão se ligar, elas vão se atrair muito fortemente.	4.1.3 5.1.4.4
	A professora questiona o grupo: <i>“Como um NaCl se liga a outro NaCl? Se o Na sempre se liga a outros Cl em uma estrutura mais complexa, por que o Na se liga a um Cl de um jeito e ao Cl de outra molécula de outro jeito?”</i>	Teste do modelo		*
	Reelaboração de <b>M2f</b> e expressão verbal do novo modelo produzido a partir do questionamento da professora.	Expressão do modelo <b>M2g</b>	A molécula não vai se ligar a outra molécula, ela vai apenas interagir. O Na com o Cl já são estáveis, já se ligaram. Mas mesmo sendo estáveis em energia e quantidade de elétrons, eles ainda vão possuir cargas negativas e positivas, que vão atrair as outras moléculas.	3.1.2 4.1.3 5.1.4.4
Atividade 5	A professora fornece informações sobre a diferença de energia na formação de pares iônicos e rede iônica.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 5	A professora fornece as seguintes informações: quando o NaCl é sólido, ele não é condutor; quando o NaCl é líquido ou está dissolvido em água, ele é condutor.	Ter experiência com o alvo		*
	Um estudante questiona: “A corrente elétrica são elétrons ou podem ser cargas elétricas?”	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	A professora informa que a corrente elétrica pode ser formada por elétrons livres ou por íons em movimento.	Ter experiência com o alvo		*
	Expressão verbal do modelo no grupo.	Expressão do modelo <b>M3</b>	No estado líquido, o NaCl se ioniza, pois nessa forma ele é um bom condutor elétrico. Depois, para que a energia liberada na formação do cloreto de sódio fosse maior do que a “calculada”, os íons de Na se ligariam a mais de um íon de Cl e vice-versa, liberando mais energia. Dessa forma, os íons $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$ , que antes estavam distribuídos aleatoriamente, organizam-se formando um quadrado, por interação eletrostática. Esse formato demonstra que as ligações têm o mesmo valor.	2.2.1 2.4.1 4.1.1 5.1.1 5.1.4.2 5.1.4.4 5.2.1.1 5.2.2.1

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 5	Expressão verbal e concreta do modelo na turma.	Expressão do modelo <b>M3a</b> 	O NaCl é formado pela interação entre íons, em uma estrutura tridimensional, de forma que a molécula não seria o par NaCl, mas a estrutura toda.	4.1.1 5.1.5.4 5.2.1.1 5.2.2.3.3 5.2.2.3.4
Atividade 6	A professora informa que NaCl não deve ser chamado de molécula. Para se referir ao NaCl, deve-se dizer par iônico ou, referindo-se à substância, dizer estrutura cristalina e, com isso, não se deve falar de polaridade, mas de interação eletrostática.	Expressão do modelo consensual		*
	Expressão verbal do modelo no grupo, elaborado a partir das novas informações sobre a condutividade do composto (informado pela professora).	Expressão do modelo <b>M3b</b>	No sólido, o que está ligado são os íons, não as moléculas.	4.1.1 5.1.4.4 5.2.1.1

Quadro 7. Quadro representativo do processo de modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino de Ligação Iônica.

### ***Análise do processo vivenciado pelo grupo 2 durante a elaboração do modelo para Ligação Iônica***

A definição dos objetivos dos modelos nessa estratégia de ensino foi feita pela professora, não sendo observados questionamentos ou colocações do grupo nesse sentido. Contudo, a condução do processo pelos estudantes, considerando tais objetivos em seus modelos, demonstrou uma adequada compreensão sobre os mesmos.

Os estudantes iniciaram o processo de modelagem observando o sistema empírico (queima do magnésio), sobre o qual eles destacaram corretamente as propriedades do sistema (2.1.1) como, por exemplo, que a chama é responsável por promover a reação do magnésio e a observação das evidências físicas da reação de combustão do magnésio, como a liberação de luz e a formação de um sólido branco.

Os conhecimentos empregados pelos estudantes foram, em geral, adequadamente selecionados (2.2.1) entre seus conhecimentos prévios, os quais consistiam, principalmente, em relacionamentos entre estabilidade, energia e ligações. Isto ocorreu, por exemplo, em relação aos *flashes* de máquinas fotográficas (Atividade 1) quando eles relacionaram a necessidade de haver uma fonte de energia para a ocorrência da reação no flash. Ainda na Atividade 1, o fato de os estudantes terem afirmado que o aparecimento de luz indica liberação de energia, expressou uma interpretação das evidências experimentais com base em seus conhecimentos prévios, o que fica mais evidente na fala: *“A ligação do magnésio pode ser, ao mesmo tempo, mais forte e gastar menos energia? A energia no MgO é menor, não é? Tanto que vai liberar energia (...) vai sobrar energia.”*. Apesar de ser expresso como um questionamento, este teve o propósito de confirmação de idéias, deixando claro o relacionamento entre estabilidade e energia das substâncias. Na Atividade 2, o emprego de conhecimentos prévios para interpretar os dados sobre energia de ionização e afinidade eletrônica ficou evidente quando os estudantes deduziram corretamente as espécies que seriam formadas. Ao elaborar o modelo **M2a**, na Atividade 3, os estudantes demonstraram o conhecimento de que a força de coesão neste estado é maior, comparado ao sal em solução (*“A ligação é bem forte, porque estava aquoso, aí para juntar, para virar sólido, a força entre elas tem que estar muito grande.”*). Na Atividade 5, na expressão de **M3**, também ficou explícito o emprego de conhecimentos prévios quando os estudantes demonstraram o conhecimento de que o NaCl líquido é bom condutor elétrico. Na expressão de **M2e**, foi possível observar o emprego equivocado da idéia de atração eletrostática (2.2.2), uma vez que os estudantes atribuíram a força entre os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  ao fato de estes possuírem cargas

iguais (*“Esta interação é do tipo eletrostática, pois as moléculas ainda têm cargas positiva e negativa, e são muito fortes porque têm valores iguais”*).

Em diversos momentos, foi possível observar que os estudantes buscaram, com a professora, conhecimentos que eles não dispunham e que julgavam relevantes para a elaboração de seus modelos de (2.3.1). Nesse sentido, eles questionaram a professora visando ampliar seus conhecimentos – perguntas exploratórias – ou confirmar suas idéias – perguntas confirmatórias. Perguntas exploratórias foram bastante freqüentes, especialmente na Atividade 1, no processo de exploração do experimento empírico (*“Quando é reversível ou irreversível tem a ver com essa variação de energia?”*; *“Por que o magnésio vai se ligar ao oxigênio? Ele adivinha que vai ser mais estável?”*) e no momento em que a professora explicou o diagrama do poço de potencial (*“Como é isso? Os núcleos vão se repelir até não mais ter molécula?”*). Este tipo de pergunta também foi observado na Atividade 3 (*“E este número de ligações está associado a que?”*), durante a exposição da professora sobre a formação do retículo, e na Atividade 5 (*“A corrente elétrica são elétrons ou podem ser cargas elétricas?”*), quando a professora forneceu informações sobre a capacidade de condução dos compostos iônicos quando fundidos. Perguntas confirmatórias foram observadas apenas na Atividade 1, quando os estudantes tentavam confirmar se sua interpretação do experimento estava correta (*“A ligação do magnésio pode ser, ao mesmo tempo, mais forte e gastar menos energia?”*; *“O que acontece é que com o fogo o magnésio pega o oxigênio e faz o óxido?”*; *“Enquanto está reagindo está liberando energia, não é?”*).

Ao longo das atividades, foi possível observar que os estudantes tentaram englobar em cada novo modelo (ou a cada reformulação de um modelo), os novos atributos fornecidos pela atividade, pela professora, ou levantados por eles próprios, sendo possível afirmar que os estudantes identificaram satisfatoriamente propriedades cruciais para a elaboração dos modelos (2.4.1) e, ainda, as integraram na maioria dos modelos elaborados (4.1.1). Por exemplo, em **M1** os estudantes relacionaram os fatores energia e estabilidade, previamente discutidos no grupo e enfocados na atividade, para explicar o processo da reação de queima do magnésio. A integração de valores de energia também ocorreu em **M3**, no qual os estudantes explicaram a maior quantidade de energia liberada na formação do retículo cristalino, informada na Atividade 5. Também em **M2** (no qual os estudantes consideraram o fenômeno da evaporação descrito na atividade e, ainda, a atração entre cargas opostas), **M2b** (no qual os estudantes relacionaram a liberação de energia à estabilidade do composto e ainda à atração entre cargas) e **M2c** (no qual os estudantes afirmaram que a atração entre os íons

ocorreria até o composto atingir estabilidade) foi verificada a integração de aspectos previamente discutidos no grupo e/ou apresentados nas atividades. Assim, os modelos propostos explicaram satisfatoriamente os aspectos abordados até cada um dos momentos destacados.

Apenas em **M2d** foi observado que, apesar de os estudantes terem integrado todos os aspectos previamente discutidos, como energia de ionização e afinidade eletrônica, atração entre cargas e estabilidade, isto ocorreu de forma inadequada (4.1.2). Os estudantes relacionaram de forma equivocada a ocorrência da ligação à transferência de energia entre as espécies  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . (*“Para formar o NaCl, o Na perde a energia que recebeu para formar  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Cl}^-$  absorve a energia que foi liberada. Como um tem um elétron a mais e o outro tem um a menos, vai haver uma doação. Ia sobrar 375,8 de energia.”*). Em **M2e** foi identificado o emprego coerente de aspectos destacados no grupo, como a relação entre força eletrostática e distância entre cargas e entre temperatura de fusão elevada e presença de interações fortes. Contudo, outros aspectos previamente destacados, como as energias envolvidas na formação dos íons e do retículo cristalino, não foram considerados (4.1.3). A não integração de aspectos relevantes (4.1.3) foi também observada no processo entre os modelos **M2f** e **M2g**, em que a professora iniciou um questionamento no sentido de fazer com que o grupo percebesse um aspecto inconsistente do modelo **M2f** (*“Como um NaCl se liga a outro NaCl? Se o Na sempre se liga a outros Cl em uma estrutura mais complexa, por que o Na se liga a um Cl de um jeito e ao Cl de outra molécula de outro jeito?”*). Entretanto, os estudantes não desenvolveram idéias relativas a esse questionamento e tal inconsistência se manteve em **M2g**.

A origem dos modelos dos estudantes esteve quase sempre em seus modelos prévios sobre estabilidade (como em **M1**, em que os estudantes relacionam adequadamente seus modelos de energia e estabilidade para explicar a formação do óxido de magnésio), atração entre cargas (como em **M2**, em que os estudantes explicam a atração com base no modelo de atração eletrostática) e a ambas as idéias associadas (em **M2b** os estudantes empregam a idéia de estabilidade à liberação de energia e, ainda, associam a formação de “moléculas” de NaCl à atração entre íons de cargas opostas). Tais relacionamentos foram adequadamente estabelecidos pelos estudantes (3.1.1) na elaboração de seus modelos. Outras idéias foram inadequadamente empregadas por eles (3.1.2) como origem de seus modelos, levando a equívocos como em **M2d**, quando os estudantes associaram a formação da ligação iônica à transferência de elétrons entre os íons; em **M2e**, quando os estudantes consideraram a maior força de ligação como sendo propiciada pela estabilidade (não o contrário); e, ainda, um

aspecto bastante recorrente: a associação do par NaCl a uma molécula (idéia que persistiu de **M2b** a **M2g**).

A expressão dos modelos dentro dos grupos ocorreu sempre de forma verbal (5.1.4.4) – em **M1**, **M2b**, **M2c**, **M2d**, **M2f**, **M2g**, **M3**, **M3b**. A expressão concreta (5.1.4.3) ocorreu principalmente em momentos em que os estudantes socializaram seus modelos na turma, como em **M2** (no qual o par NaCl foi representado com duas bolinhas de massinha – figura 11), **M2e** (no qual foram representados pares NaCl em massinha, unidos por palitos, à semelhança do que está representado em forma bidimensional na figura 13) e **M3a** (que representava a ligação dos íons no retículo, conforme o desenho da atividade escrita apresentado na figura 14).

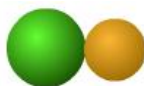


Figura 11. Representação do par NaCl construído em massinha.

O uso da representação simbólica (5.1.4.1) e esteve presente no cálculo das energias dos compostos iônicos em **M2d** (figura 12), que foi registrado na atividade escrita. O uso de representações bidimensionais (desenhos) (5.1.4.2) foi empregado apenas nas atividades escritas em **M2e** (figura 13) e **M3** (figura 14).

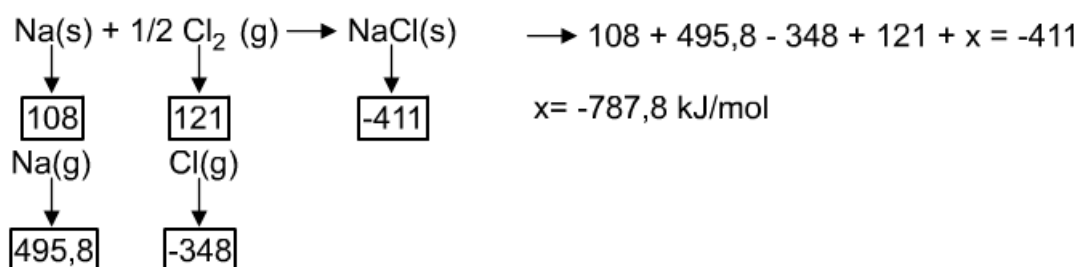


Figura 12. Representação simbólica para o modelo.

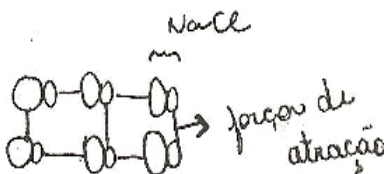


Figura 13. Representação bidimensional para o sólido formado por moléculas de NaCl.

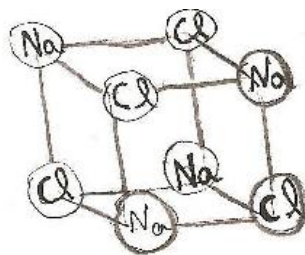


Figura 14. Representação bidimensional do modelo para o sólido iônico NaCl.

Para a maior parte dos modelos, em especial aqueles apresentados para a turma, os estudantes justificaram suas idéias (5.2.1.1). Contudo, em **M2** isto não ocorreu (5.2.1.2), uma vez que os estudantes apenas afirmaram que, ao evaporar a água da solução aquosa do NaCl, ficaria uma carga negativa e uma positiva e elas iriam se atrair. Apesar de ser implícita a concepção de que cargas de sinais opostos se atraem, eles não mencionaram isto e apresentaram tal modelo sem qualquer justificativa complementar. O emprego de justificativa incoerente (5.2.1.3) foi observado apenas na expressão de **M2e**, quando eles justificam a maior força de ligação entre as moléculas pela maior estabilidade do composto, e não o contrário.

A realização de teste mental ocorreu apenas para o modelo **M2b**, a partir da elaboração de situação hipotética proposta por uma estudante do grupo (6.1.1) durante a expressão do modelo elaborado por seu grupo. Isto foi observado pela apresentação de uma situação hipotética: se o sal fosse formado por atração entre íons haveria a formação de um grão *gigante*, pois “*sempre vai ter uma carga para atrair outra.*”. Contudo, a condução do teste mental ocorreu de maneira inadequada (6.3.2), levando à proposição de um resultado que não condizia com o sistema em estudo. Neste grupo, também não foi verificada a consideração da abrangência e das limitações dos modelos propostos.

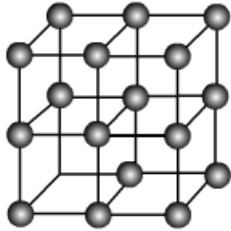
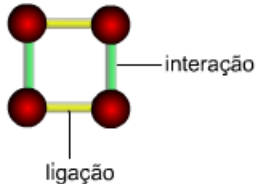
#### ***Quadro Representativo do Processo de Modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino de Interações Intermoleculares***

O quadro a seguir representa o processo vivido pelo grupo 2 durante a construção do modelo para interações intermoleculares, com a identificação dos elementos relacionados ao processo de modelagem, a caracterização desses e dos modelos expressos. Associadas a cada um desses elementos, foram identificadas as subcategorias identificadas na análise (expressas através de seus códigos numéricos).

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 2	A professora enfatiza o objetivo do modelo a ser construído: explicar a diferença entre as observações feitas no aquecimento do grafite e do iodo.	Definir os objetivos do modelo		*
	Os estudantes, usando seus conhecimentos prévios, afirmam que as duas substâncias, grafite e iodo, são apolares.	Ter experiência com o alvo		2.2.1
	Um estudante questiona: <i>“Qual ligação é a mais forte, a polar ou a apolar?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	A professora fornece a informação de que não se deve pensar na ligação, mas na atração molécula-molécula.	Ter experiência com o alvo		*
	O estudante levanta a idéia de que o carbono no grafite se liga mais forte, por isso ele precisa de mais energia para fundir.	Ter experiência com o alvo		2.2.1
	Após discussões no grupo, os modelos são expressos verbalmente.	Elaboração e expressão dos modelos <b>M1</b> e <b>M2</b> <sup>19</sup>	Cada carbono se liga a vários outros átomos de carbono e cada átomo de iodo se liga a apenas a um outro átomo de iodo.	2.4.2 4.1.3 5.1.4.4

<sup>19</sup> Devido ao fato de os estudantes terem apresentado um modelo diferente para cada substância, grafite e iodo, a numeração dos modelos foi separada.

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 2	A professora retoma o objetivo da atividade: modelar o que o aquecimento provoca em cada substância.	Definir o objetivo do modelo		*
	Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2a</b>	O iodo fica gasoso na forma $I_2$ . O que muda com o aquecimento não é a ligação I – I, mas sim a interação de uma molécula de $I_2$ com as outras moléculas de $I_2$ .	2.2.1 2.4.1 3.1.1 5.1.4.4
	Um estudante afirma que no grafite as ligações são mais fortes; ele fica mais duro, com átomos mais fixos em uma posição.	Ter experiência com o alvo		2.2.1
	Expressão verbal dos modelos para a turma.	Elaboração e expressão dos modelos <b>M1a e M2b</b>	Cada átomo de iodo precisa de apenas mais um elétron para estabilizar, enquanto cada carbono precisa de mais quatro.	2.2.1 2.4.3 3.1.1 4.1.3 5.1.4.4 5.2.1.3 5.2.2.3.4

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 2	Complementação da apresentação do modelo com uso de representação concreta construída com bolinhas de massinha e palitos.	Elaboração e expressão do modelo <b>M1a</b> 	<i>“Como no grafite é o mesmo átomo ligado, as forças e as distâncias das ligações serão as mesmas. É como se fosse uma macromolécula, por isso vai ser mais difícil de quebrar sua estrutura. Ele é mais estável.”</i>	4.1.1 5.1.1 5.2.1.1 5.2.2.1 5.2.2.3.3 5.2.2.3.4
	Complementação da apresentação do modelo com uso de representação concreta: cada molécula de iodo é representada por um par de bolinhas de massinha, a união entre as moléculas é feita por massinha de cor diferente, para diferenciar a ligação das interações.	Elaboração e expressão do modelo <b>M2b</b> 	Para o I <sub>2</sub> , há moléculas que interagem com uma força menor do que a força da ligação.	4.1.1 5.1.2 5.2.1.1 5.2.2.1 5.2.2.3.3 5.2.2.3.4
	Se tirar um átomo de carbono, vai desestabilizar toda a estrutura do grafite.	Teste mental Elaboração e expressão do modelo <b>M1b</b>	O grafite é mais forte devido à sua estrutura.	5.2.2.3.4 6.1.1 6.3.1
	O grafite, que não forma moléculas, vai ser chamado de sólido covalente, diferente do iodo que é molécula.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	A professora afirma que, a fim de tirar a dúvida sobre I <sub>2</sub> ser molécula ou não, será realizado o teste do amido.	Teste do modelo		*
	A professora questiona o grupo: <i>“Por que vocês disseram que o grafite é mais estável?”</i>	Teste do modelo		*
	Complementação verbal dos modelos anteriores para o grupo e para a professora.	Expressão dos modelos <b>M1b</b> e <b>M2c</b>	O grafite é mais estável do que o iodo porque o grafite não muda e o iodo vai separar com o aquecimento. As moléculas de iodo ganham energia e se separam.	3.1.1 4.1.1 5.1.4.4 5.2.1.1
	A professora fornece as informações: substâncias moleculares têm comportamento diferente de substâncias covalentes. As temperaturas de fusão dos compostos covalentes são bastante elevadas (T.F. do grafite é 3500°C e do diamante é 3850°C). Tem que haver fornecimento de grande quantidade de energia para romper ligações covalentes. Em compostos moleculares, a energia gasta para mudanças de estado é bem menor.	Ter experiência com o alvo		*

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 3	A professora informa que no teste do iodo com o amido, a coloração formada esclarece sobre o que é formado com o aquecimento do iodo: I <sub>2</sub> ou I isolado. O teste é específico para I <sub>2</sub> e a coloração formada indica a presença de I <sub>2</sub> . I isolado não é facilmente encontrado porque ele não é estável.	Ter experiência com o alvo		*
Atividade 4	A professora fornece outros exemplos de sólidos moleculares e enfatiza o açúcar, apresentando sua fórmula como um carboidrato C <sub>12</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>11</sub> . A professora explica o teste do aquecimento do açúcar.	Ter experiência com o alvo		*
	Os estudantes afirmam que a água do açúcar sai com o aquecimento e fica carbono.	Ter experiência com o alvo		2.1.1 2.2.1
	A professora questiona o grupo sobre o que é possível dizer do processo de fusão e de caramelização em relação às ligações.	Definição dos objetivos do modelo		*
	Expressão verbal do modelo no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M3</b>	Na fusão do açúcar, rompem-se ligações entre as moléculas (como no caso do I <sub>2</sub> ), enquanto na caramelização rompem-se ligações entre os átomos.	3.1.1 4.1.1 5.1.4.4

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 4	Os estudantes questionam a professora: <i>“então essas ligações (entre os átomos) não são tão fortes. Como é possível saber isso?”</i>	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	A professora questiona sobre a conclusão em relação às energias do açúcar e do iodo.	Teste do modelo		*
	Expressão verbal do modelo para a professora.	Expressão do modelo <b>M2d</b>	O iodo precisa de mais energia para romper as ligações entre os átomos.	2.4.1 4.1.1 5.1.4.4
	A professora informa que (i) no aquecimento houve a fusão e as moléculas foram separadas; (ii) na decomposição, houve separação de átomos. A energia para separar as moléculas é próxima da energia para romper as ligações covalentes.	Expressão do modelo consensual		*
	A professora conclui que apesar de iodo e sacarose serem moléculas, a diferença de comportamento se deve às diferenças de ligações e estruturas das duas.	Expressão do modelo consensual		*
	Um estudante questiona a professora: <i>“se o açúcar fosse mais aquecido, ele ficaria mais duro? Vira grafite?”</i>	Teste mental do modelo		2.3.1 6.1.1

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROCESSO	ELEMENTOS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	HABILIDADES
Atividade 4	Outra estudante do próprio grupo responde a questão anterior dizendo que o açúcar, mesmo se for mais aquecido não vira grafite por causa do arranjo.	Ter experiência com o alvo		2.3.1
	A professora fornece mais uma informação: a unidade elementar do iodo é a molécula de iodo, não o átomo de iodo.	Expressão do modelo consensual		*
Atividade 5	A professora explicita o objetivo de uma questão: pensar na diferença de comportamento de substâncias moleculares.	Discussão da abrangência do modelo		*
	Pela análise de dados de temperatura de ebulição de algumas substâncias, os estudantes propõem um modelo, expresso verbalmente no grupo.	Elaboração e expressão do modelo <b>M4</b>	O número atômico maior leva moléculas semelhantes (apolares) a ter maior temperatura de ebulição.	3.1.1 4.1.1 5.1.4.4

Quadro 8. Quadro representativo do processo de modelagem desenvolvido pelo grupo 2 na estratégia de ensino de Interações Intermoleculares.

### ***Análise do processo vivido pelo grupo 2 durante a elaboração do modelo para Interações Intermoleculares***

O processo de elaboração dos modelos nessa estratégia se iniciou pela definição dos objetivos, realizada pela professora e pelas atividades. Não foram observados questionamentos ou comentários dos estudantes que demonstrassem tal compreensão, mas os modelos que foram elaborados atenderam adequadamente tais objetivos, evidenciando uma apropriada compreensão dos mesmos.

Foi possível observar que os estudantes observaram adequadamente propriedades relevantes dos sistemas (2.1.1), em especial em relação aos sistemas empíricos, apesar de a manifestação explícita desta compreensão ter ocorrido apenas na Atividade 4, quando os estudantes analisaram o aquecimento do açúcar, observaram e acrescentaram em seu modelo a idéia de saída de água do sistema. Em relação aos demais momentos, é possível afirmar que os estudantes observaram as propriedades do sistema, pois na proposição dos modelos eles incluíram explicações coerentes com tais propriedades (por exemplo, o fato de o iodo sublimar foi explicado pelo afastamento das moléculas com o aquecimento). O emprego dos conhecimentos prévios dos estudantes ocorreu de forma adequada ao longo de todo o processo (2.2.1), e esses foram bastante relevantes na composição de seus modelos. Entre tais conhecimentos, podemos destacar as idéias relativas à força das ligações, que antecederam a elaboração de **M1** e estiveram presentes em outros momentos das discussões. O conhecimento sobre a diferença das forças de ligações e interações foi apresentado no modelo M2a. Na Atividade 4, durante a interpretação do experimento do aquecimento do açúcar, o grupo demonstrou o conhecimento sobre a composição do açúcar, afirmando que sairia água e restaria carbono no aquecimento. Outro momento em que ficou evidente o emprego de conhecimentos prévios foi na expressão dos modelos **M1a** e **M2b**, em que os estudantes explicitaram a relação com o modelo do octeto (eles afirmaram que cada átomo de iodo precisa de apenas mais um elétron para estabilizar, enquanto cada carbono precisa de mais quatro). Entretanto, apesar de isso ter sido representado nas expressões dos modelos, tal idéia não contribuiu para que os modelos explicassem a diferença do comportamento das substâncias.

A busca de informações pelos estudantes ocorreu por meio de perguntas exploratórias direcionadas à professora, todas com foco em conhecimentos adequados à formulação dos modelos (2.3.1). Por exemplo, na Atividade 2, os estudantes questionaram: “Qual ligação é a mais forte, a polar ou a apolar?”, com o propósito de compreender as propriedades das

substâncias iodo e grafite. Na Atividade 4, houve um questionamento sobre as ligações interatômicas no açúcar, uma vez que esta substância pode ser decomposta com certa facilidade: *“Então essas ligações (entre os átomos) não são tão fortes. Como é possível saber isso?”*. Os estudantes exploraram o sistema do açúcar questionando: *“Se o açúcar fosse mais aquecido, ele ficaria mais duro? Vira grafite?”*. É interessante pontuar que esta última pergunta foi respondida por um integrante do próprio grupo, que afirmou que: *“O açúcar, mesmo se for mais aquecido, não vira grafite por causa do arranjo”*.

A identificação de propriedades relevantes para a construção do sistema ocorreu de forma incompleta (2.4.2) na expressão de **M1** e **M2**, em que os estudantes consideraram apenas as ligações entre os átomos, e não as propriedades do sistema empírico observado. A reelaboração desses modelos, levando à formulação de **M1a** e **M2b**, foi feita apenas a partir de informações sobre o número de ligações formadas pelos átomos de iodo e de carbono, o que não era propriedade relevante para o propósito do modelo (2.4.3). Em **M2a** (no qual os estudantes representaram que o iodo fica gasoso na forma  $I_2$ , rompendo apenas as interações entre as moléculas com o aquecimento) e **M2d** (no qual os estudantes exprimiram a idéia de que o iodo precisa de mais energia para romper as ligações entre os átomos, comparado ao açúcar), os estudantes apresentaram uma seleção adequada das propriedades relevantes dos sistemas (2.4.1), principalmente relacionadas à força das ligações.

A origem dos modelos dos estudantes foi buscada de forma adequada (3.1.1) e esteve centrada no uso de modelos prévios sobre ligação e interação, como observado em **M2a** (pelo qual fica claro o conhecimento dos estudantes sobre os modelos de ligação e interação) e **M1a** e **M2b** (nos quais fica claro o conhecimento do modelo do octeto). O emprego do modelo cinético molecular foi evidente em **M2c** (no qual foi representada a relação do aumento da distância entre partículas com o aumento da energia do sistema) e, em **M3** (no qual a analogia com o modelo anteriormente elaborado para explicar o aquecimento do iodo foi explicitada).

O emprego, no modelo, de todos os aspectos previamente destacados pelo grupo ocorreu de forma parcial (4.1.3) nos modelos **M1** e **M2**, nos quais foi apresentada a idéia do número de ligações realizadas por cada elemento, carbono e iodo, respectivamente, mas sem relacionamento com a evidência empírica. A partir de **M1a** e **M2b** todos os modelos apresentaram todos os aspectos destacados previamente (4.1.1), relacionando de forma adequada a energia das ligações e a formação dessas nos sistemas empíricos.

Na expressão dos modelos, concretos ou bidimensionais, os estudantes construíram representações usando palitos e bolinhas, representações convencionalmente usadas (5.1.1)

na representação de átomos e interações, respectivamente. Isto pôde ser observado nas representações dos modelos **M1a** (figura 15) e **M2b** (figura 16).

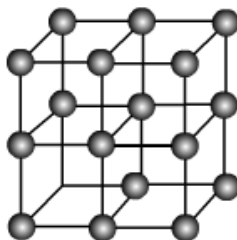


Figura 15. Representação da estrutura da grafite.

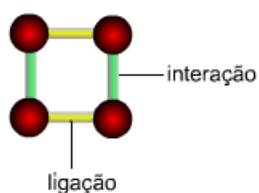


Figura 16. Representação de moléculas de iodo.

A expressão de **M2b**, contudo, associou, aos códigos previamente conhecidos (bolinhas para átomos e palitos para ligações), um novo código (envolvendo cores diferentes) criado pelo grupo (5.1.2) para diferenciar a ligação da interação em seu modelo (figura 16).

A expressão de todos os modelos ocorreu de forma verbal (5.1.4.4), sendo esta forma associada à representação concreta apenas em **M1a** e **M2b**, quando os modelos concretos foram usados na socialização dos mesmos para a turma.

Os únicos momentos em que foram observados testes mentais realizados pelos estudantes ocorreram em relação ao modelo **M1b**, quando eles relacionaram a estabilidade da substância (grafite) à sua estrutura. O teste foi realizado a partir de uma questão hipotética: “se tirar um átomo de carbono, vai destabilizar toda a estrutura do grafite?” Este teste foi adequado ao sistema (6.1.1), assim como a conclusão dos estudantes a partir dele, de que a estabilidade estava realmente associada à estrutura. Na Atividade 4, antes da elaboração do modelo **M4**, foi observado um teste adequado (6.1.1) para o modelo **M3**, quando os estudantes buscaram informações sobre o sistema com a professora, a fim de confirmar seu modelo mental sobre a composição da grafite. Neste caso, a resposta do teste foi dada por informações disponibilizadas pelo próprio grupo.

A atividade proposta na estratégia de ensino com o propósito de os estudantes considerarem os valores de temperatura de fusão e ebulição de outras substâncias moleculares os levou à proposição de um novo modelo (**M4**), o qual englobou novas idéias

relacionadas à massa da molécula. A abrangência ou limitações dos modelos finais dos estudantes, apesar de ser objetivo da última atividade proposta pela professora, não foi verificada no processo vivenciado pelo grupo, uma vez que não houve registro das suas considerações sobre o modelo anterior, sendo apenas elaborado um novo modelo para o sistema.

### ***Análise dos três processos de modelagem vividos pelo grupo 2***

O desenvolvimento dos modelos dos estudantes do grupo 2 ocorreu, nas três estratégias de ensino, com emprego predominante de modelos submicroscópicos previamente estudados. Mesmo na estratégia relativa à super cola, na qual os estudantes tiveram poucas informações teóricas sobre o sistema e, ao mesmo tempo, lidavam com um sistema que admitia analogias com sistemas cotidianos conhecidos, a abordagem das atividades ocorreu de forma mais teórica. O grupo focou nos aspectos submicroscópicos do sistema e, em poucos momentos, retomou as evidências físicas do sistema.

Em todas as atividades, os estudantes recorreram às suas concepções prévias sobre ligações, interações entre cargas, estabilidade e modelo do octeto. Contudo, a seleção desses modelos prévios foi inadequada em alguns momentos ou, ainda, pode-se dizer que eles não conseguiram determinar adequadamente o contexto de aplicação de tais modelos, empregando-os inadvertidamente em relacionamentos que não poderiam ser estabelecidos. Por exemplo, na elaboração do modelo para interações intermoleculares, os estudantes se detiveram na configuração eletrônica dos átomos, deixando de incorporar em seus modelos iniciais a explicação dos fenômenos em estudo. Mesmo com as informações fornecidas pelas atividades ou pela professora, foi possível observar a persistência do grupo em propor modelos a partir seus modelos prévios, chegando a desconsiderar tais informações. Isto pode estar associado a uma dificuldade de os estudantes relacionarem as novas informações disponibilizadas aos seus modelos prévios.

O questionamento à professora ocorreu em todas as atividades. Entretanto, foi possível perceber que o propósito principal desses questionamentos mudou de esclarecer os objetivos do modelo, na primeira estratégia de ensino, para obter novas informações sobre o sistema, nas duas estratégias seguintes.

A construção de modelos concretos pelo grupo ocorreu principalmente visando os momentos de socialização com a turma, tendo prevalecido, nos outros momentos, o uso de representação verbal. Ao longo das atividades, foi observado que os estudantes tiveram menos necessidade de elaborar modelos concretos para os sistemas, expressando

verbalmente suas idéias e discutindo-as sem necessidade de representação em outro modo. Isto pode estar associado ao desenvolvimento da capacidade de visualização dos estudantes ao longo das atividades (Queiroz, 2009), o que parece ter tornado mais fácil compreender os modelos descritos pelos colegas. A expressão bidimensional ficou restrita às atividades escritas, mas, mesmo assim, elas foram pouco empregadas pelos estudantes, e sempre associadas à representação verbal. As representações bidimensionais propostas por eles consistiram em desenhos representando os sistemas submicroscópicos, em geral semelhantes àqueles representados concretamente, usando códigos convencionais como círculos ou bolas para átomos e traços ou palitos para representação das ligações. A criação de novos códigos de representação foi observada em poucos momentos e, em geral, eles consistiram de pequenas variações em relação aos convencionalmente usados.

A proposição de testes dos modelos foi realizada em poucos momentos ao longo das atividades, ocorrendo de forma espontânea ou a partir de solicitações apresentadas pelas atividades ou pela professora. A condução de testes pelos estudantes ocorreu de forma pouco planejada, consistindo de situações em que eles realizavam previsões com base em seus modelos, avaliando os resultados com base em seus conhecimentos prévios. Entretanto, as inferências feitas ao longo dos testes nem sempre pareceram adequadas, o que levou a avaliações inadequadas dos modelos em certos momentos.

A consideração da abrangência e das limitações dos modelos ocorreu poucas vezes ao longo dos processos e, em geral, por proposição da professora ou das atividades, ou ainda, como conseqüência da realização de testes mentais. A falta de consideração da abrangência e das limitações dos modelos pode estar associada às poucas oportunidades que os estudantes tiveram de empregar seus modelos em outras situações ou contextos.

## RESULTADOS III – ANÁLISE DA SEGUNDA QUESTÃO DE PESQUISA

Conforme apresentado anteriormente, a análise realizada para fundamentar a discussão da segunda questão de pesquisa será organizada a partir de cada uma das séries de entrevistas, apesar de terem sido considerados dados tanto das entrevistas quanto das atividades escritas a elas relacionadas.

Os nomes dos estudantes apresentados no texto foram devidamente alterados para manter o anonimato dos sujeitos. O código Gx indica o grupo ao qual o indivíduo pertence, sendo x um número compreendido entre 1 e 6, incluindo estes.

### Entrevista I

Entre os dez estudantes que participaram da primeira entrevista, quatro (Maria G1, Juliana G2, Pablo G3 e Ronan G1) afirmaram que nunca haviam participado de atividades de construção de modelo, enquanto os outros seis (Aline G1, Breno G4, Caio G3, Márcio G6, Marina G5, Tatiana G5) disseram que haviam construído modelos em atividades na primeira série do ensino médio. Todos os estudantes que afirmaram ter participado de atividades de construção de modelos ressaltaram a diferença de estrutura entre as atividades do ano anterior e aquelas desenvolvidas no ano corrente, enfatizando que os modelos construídos no ano anterior faziam parte de atividades propostas pelo livro didático adotado para a disciplina Química<sup>20</sup>. As principais diferenças que os estudantes destacaram entre as estratégias de ensino que eles estavam vivenciando naquele ano e as atividades do ano anterior foram: a integração de diversos dados; a condução de testes; as diversas reelaborações dos modelos; as discussões nos grupos até o estabelecimento de consensos; e a forma de avaliação do modelo final. Desta forma, podemos afirmar que os estudantes não haviam participado de atividades de modelagem na perspectiva assumida no presente trabalho, em que o processo de construção envolve diversas ações em termos de selecionar e integrar diversos conhecimentos e informações, elaborar e representar o modelo e, ainda, analisá-lo, avaliá-lo e propor modificações.

---

<sup>20</sup> Este livro possui abordagem construtivista e propõe diversas atividades de representação de modelos. Contudo, as atividades propostas neste livro apresentam estrutura bastante diferenciada das estratégias de ensino que são alvo da análise desta pesquisa. Em geral, elas consistem na expressão dos modelos mentais dos estudantes sobre determinados fenômenos através de representações concretas ou desenhos, sem o planejamento de ações que levem à integração de novos dados, condução de testes e reformulação dos modelos.

Sobre a visão que os estudantes tinham sobre modelos, quatro deles (Aline G1, Márcio G6, Marina G5, Pablo G3) informaram que as aulas iniciais, nas quais foram discutidos aspectos sobre modelos, ajudaram a ampliar suas idéias sobre este tema. Todos eles afirmaram que possuíam idéias prévias sobre modelos, mas ressaltaram a contribuição das aulas para destacar aspectos como: a possibilidade de haver dois ou mais modelos para representar uma mesma idéia ou fenômeno; o fato de modelos poderem ser muito maiores, muito menores ou do mesmo tamanho do objeto modelado; que modelos não são cópias fiéis da realidade e, ainda, um estudante (Pablo G3) destacou que sua compreensão sobre modelos foi ampliada. Em suas palavras: *“não que as idéias eram novas, mas a discussão foi nova, com questões mais polêmicas para julgar o que é ou não é modelo”*.

Em relação a esta compreensão sobre características e uso de modelos, não foram observadas dificuldades dos estudantes ou limitações de suas visões em relação a isso, sendo, pelo contrário, verificado um conhecimento adequado e suficiente para a participação nas atividades. A partir da análise da Atividade 1 (Anexo 6) é possível afirmar que tais estudantes apresentavam conhecimentos prévios bastante adequados sobre o tema, mas não podemos descartar a possibilidade de esta própria atividade, acompanhada das discussões com a professora, ter contribuído para que idéias coerentes fossem ampliadas e/ou reforçadas, mesmo que alguns estudantes não tenham expressado isso.

Sobre o processo de elaboração dos modelos, seis dos estudantes (Aline G1, Márcio G6, Breno G4, Maria G1, Ronan G1, Tatiana G5) destacaram dificuldades nas atividades, sendo que quatro deles (Breno G4, Maria G1, Ronan G1, Tatiana G5) relacionaram tais dificuldades à falta de conhecimentos prévios sobre conteúdos relacionados ao sistema modelado. Os outros dois estudantes (Aline G1, Márcio G6) mencionaram a dificuldade de reunir todas as idéias necessárias e integrá-las em um único modelo consensual, dificuldade que esteve principalmente relacionada ao trabalho em seus grupos. A limitação do conhecimento prévio de conteúdo, identificada por eles, parece apontar uma consciência dos mesmos em relação à necessidade de que os modelos sejam construídos sobre bases sólidas e coerentes em relação aos sistemas enfocados.

Durante a elaboração do primeiro modelo da estratégia de ensino para ligação iônica, apenas um estudante (Márcio G6) explicitou ter usado, de forma consciente e voluntária, as etapas do processo de modelagem previamente descritas na estratégia para a cola. Para isso, o estudante solicitou à professora a atividade escrita feita por ele e, a partir dela, tentou formular seu modelo para ligação iônica seguindo os passos que ele havia discriminado. O

estudante justificou a consulta à atividade anterior afirmando que ele acreditava ter sistematizado de forma adequada o processo de construção de modelos e não se recordava do que havia escrito. Assim, a consulta o ajudaria a pensar o que ele deveria fazer para construir o próximo modelo.

Os demais estudantes entrevistados afirmaram que, no momento de construção do modelo para a ligação iônica, não se lembraram das etapas que eles haviam descrito para a construção do modelo da cola. Seis estudantes (Aline G1, Breno G4, Juliana G2, Caio G3, Maria G1, Marina G5) afirmaram que tais etapas ocorreram naturalmente durante o processo de modelagem, o que os levou a caracterizá-las como intuitivas. Esta afirmação indica um envolvimento com o processo de modelagem de forma espontânea, isto é, o desenvolvimento de seus modelos ocorreu de forma natural, sem comandos ou etapas previamente estabelecidos. Parece-nos, então, que o conhecimento dos estudantes sobre o processo de construção de modelos é, gradualmente, advindo da prática nas atividades.

As atividades escritas feitas pelos estudantes na estratégia da cola, em especial a questão 02 da Atividade 2 (Anexo 6), que continha o quadro em que eles sistematizaram as etapas do processo de modelagem, foram disponibilizadas para os mesmos no momento da entrevista. Ao lerem novamente o que haviam escrito, cinco estudantes identificaram diferenças entre as etapas descritas e aquelas empregadas na atividade da estratégia para ligação iônica. Destes estudantes, quatro (Maria G1, Marina G5, Ronan G1, Breno G4) identificaram diferenças relacionadas aos conteúdos dos dois modelos, o que pode indicar que, ao responder à Atividade 2 da estratégia da cola, eles não pensaram no processo geral de modelagem, mas especificamente no processo de construção do modelo para a cola, relacionando as diferenças a conteúdos específicos para aquele caso. Ainda, entre os cinco estudantes que identificaram diferenças nas etapas dos processos, dois deles (Breno G4 e Aline G1) destacaram diferenças observadas na ordem do emprego das etapas. Um dos estudantes que identificou diferenças entre os processos em relação à ordem das etapas empregadas na construção dos modelos (Aline G1) destacou tal diferença da seguinte maneira:

*“No modelo da cola, primeiro a gente ficou se fazendo perguntas; no modelo do NaCl a gente criou e depois a gente se perguntou se aquilo funcionava mesmo.”*

Isto parece mostrar que ela percebeu, na proposição do modelo para a ligação iônica, o processo de elaboração do modelo anterior à condução de testes, o que ocorreu de forma inversa no modelo para a cola. Este dado evidencia, ainda, que a refletiu sobre as diferenças entre os processos de elaboração dos modelos, e não dos conteúdos.

Em relação às etapas do processo de modelagem descritas pelos estudantes, as principais foram: pensar no fenômeno/sistema; estudar o fenômeno/sistema; selecionar conhecimentos prévios; elaborar o modelo; e representar o modelo. A diferença entre as duas primeiras etapas citadas está no fato de que, para eles, *pensar no fenômeno/sistema* se referia a capturar as evidências diretamente observadas e/ou fornecidas sobre o sistema, enquanto *estudar o fenômeno/sistema* envolvia ações relacionadas com a condução de investigações sobre as propriedades ou informações sobre o mesmo. A *busca de informações* foi outra etapa do processo de modelagem mencionada por dois estudantes (Pablo G3, Tatiana G5). Esta etapa se diferencia daquela de *estudar o fenômeno/sistema*, citada anteriormente, na medida em que engloba qualquer forma de obter informações, não se limitando a estudar o fenômeno/sistema em si.

Etapas relacionadas a testes, mentais ou empíricos, não foram mencionadas pelos estudantes no sentido de testar o modelo, o que pode ser consequência das próprias atividades das quais eles participaram. Isto porque, para o modelo da cola, não foram propostos testes do modelo na própria estratégia e, até o momento de realização das entrevistas, isto também não havia sido feito para o modelo para ligação iônica. O único estudante que mencionou a realização de experimentos, Breno G4, se referiu a isso como uma forma de reunir mais informações sobre o sistema, não como teste do modelo.

O Quadro 9 sintetiza as etapas mencionadas pelos estudantes. Os números dentro dos parênteses indicam a qual etapa aquela se refere dentro do conjunto de etapas proposto por cada estudante. Por exemplo, um código (2/3) indica que aquela foi a segunda etapa entre três propostas pelo estudante.

As etapas destacadas no quadro 9 se referem a etapas gerais sobre o processo de modelagem descritas pelos estudantes. Nos casos em que eles mencionaram aspectos relativos aos conteúdos específicos do modelo, buscamos relacionar suas idéias a alguma etapa geral dentro do processo. Por exemplo, um estudante destacou como uma etapa do processo de modelagem para a cola: *“composição da cola, dos materiais que ela cola e dos materiais que ela não cola”*. Esta etapa se refere a uma ampliação dos conhecimentos sobre o sistema modelado, que não são diretamente apreendidos pela observação do sistema. Desta forma, esta etapa foi relacionada à *busca de informações sobre o sistema*, que pode ocorrer a partir de uma pesquisa na literatura ou mesmo a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes.

Principais etapas envolvidas no processo de modelagem	Estudantes
Pensar no fenômeno/sistema	Aline G1 (2/3), Breno G4 (1/4), Juliana G2 (1/1), Caio G3 (1/5), Maria G1 (1/3), Pablo G3 (1/5), Ronan G1 (2/3), Tatiana G5 (1/5)
Selecionar conhecimentos prévios	Aline G1 (1/3), Breno G4 (2/4), Márcio G6 (2/4), Marina G5 (2/3), Ronan G1 (1/3), Tatiana G5 (2/5).
Fazer experimentos (para buscar informações sobre o sistema)	Breno G4 (3/4)
Estudar o fenômeno/sistema	Caio G3 (3/5), Márcio G6 (1/4), Marina G5 (1/3), Pablo G3 (3/5)
Buscar/Pesquisar mais informações sobre o sistema	Pablo G3 (2/5), Tatiana G5 (3/5), Maria G1 (2/3)
Elaborar o modelo	Aline G1 (3/3), Breno G4 (4/4), Caio G3 (4/5), Maria G1 (3/3), Marina G5 (3/3), Ronan G1 (3/3)
Testar o modelo mentalmente	–
Testar o modelo empiricamente	–
Representar o fenômeno	Caio G3 (2/5), Pablo G6 (4/5)
Representar o modelo	Caio G3 (5/5), Márcio G6 (3/4), Pablo G3 (5/5), Tatiana G5 (4/5)
Complementação/reelaboração do modelo	Márcio G6 (4/4)
Verificar se o modelo atende aos objetivos propostos	Tatiana G5 (5/5)

Quadro 9. Etapas do processo de modelagem identificadas pelos estudantes na entrevista 1.

A análise do quadro 9 evidencia que a etapa *pensar no fenômeno/sistema* foi citada por seis estudantes como sendo a primeira de um processo de modelagem, seguida pela *seleção de conhecimentos prévios*, que foi citada por quatro estudantes como a segunda etapa do processo de modelagem e por dois estudantes como sendo a primeira etapa.

Quatro estudantes mencionaram a etapa de *estudar o fenômeno/sistema*, sendo que dois deles ordenaram-na como a primeira etapa. É possível que esses dois estudantes tenham mencionado tal etapa pensando tanto em *pensar sobre o fenômeno* quanto em *estudar o fenômeno*, uma vez que nas falas das entrevistas eles não demonstraram reconhecer a diferença entre as duas, referindo-se a tal etapa simplesmente como uma forma de conhecer melhor o fenômeno. Os outros dois citaram-na como uma das etapas mais finais do processo. A citação de todas estas etapas (*pensar no fenômeno/sistema*, *seleção de conhecimentos*

*prévios, estudar o fenômeno/sistema, buscar mais informações sobre o sistema*) como etapas iniciais do processo de construção do modelo indica que eles reconheceram a necessidade de se conhecer o sistema e reunir informações relevantes sobre o mesmo antes de proceder à elaboração do modelo, o que é coerente com o desenvolvimento de modelos segundo o referencial que adotamos.

A etapa de *elaborar o modelo* foi mencionada por seis estudantes e a etapa de *representar o modelo* foi mencionada por quatro deles. É possível observar que apenas um estudante (Caio G3) incluiu as duas etapas, explicitando uma compreensão sobre a diferença entre elas. Os demais estudantes que mencionaram apenas uma dessas etapas podem ter se referido ao mesmo processo, mas com linguagem diferenciada ou, ainda, eles podem não ter atentado para a diferença entre elaborar e expressar o modelo, uma vez que estas ocorreram em conjunto e de forma dinâmica durante o processo e, além disso, os estudantes não receberam qualquer instrução formal sobre a diferença entre as duas. Apenas dois estudantes mencionaram a existência de etapas posteriores ao processo de representação do modelo: Tatiana G5 (que mencionou a etapa de verificar se o modelo proposto atende aos objetivos iniciais) e Márcio G6 (que mencionou a etapa de reelaboração ou complementação do modelo). Mais uma vez, isso pode ser decorrente das atividades realizadas pelos estudantes até o momento de realização da segunda entrevista, nas quais ainda não haviam sido propostas etapas para testar e avaliar o modelo.

Ao serem questionados sobre o processo de construção dos modelos nos grupos, todos os estudantes destacaram o papel das discussões no processo de elaboração dos modelos. Cinco deles (Juliana G2, Márcio G6, Marina G5, Pablo G3 e Ronan G1), deixaram claro que as discussões antecederam a elaboração do modelo. Dentre eles, Pablo G3 destacou que o grupo não precisou do modelo para discutir ou desenvolver as idéias, o que pode ser conseqüência de os estudantes não terem trabalhado ou empregado seus modelos em alguma situação após a elaboração do mesmo.

Cinco estudantes (Márcio G6, Marina G5, Pablo G3, Ronan G1 e Tatiana G5) destacaram a importância dos conhecimentos prévios para o desenvolvimento do modelo. Destes cinco, os quatro últimos haviam incluído a seleção de conhecimentos prévios entre as etapas do processo de modelagem na lista de etapas produzida na Atividade 2 da estratégia da cola. Os outros três não haviam explicitado esta idéia na atividade escrita, quando descreveram as etapas do processo de modelagem. Isto pode indicar que eles refletiram mais

sobre o processo de construção dos modelos, ou sobre a importância dos conhecimentos prévios, especificamente quando participaram da segunda atividade de modelagem.

Apenas uma estudante (Marina G5) mencionou na entrevista uma etapa posterior à elaboração do modelo, que consistiria no apontamento de falhas, correção, reconstrução e discussão. Esta estudante não é a mesma que mencionou esta etapa na atividade escrita, mas fazia parte do mesmo grupo. O papel da professora no fornecimento de novas informações sobre o sistema também foi citado por esta estudante.

Duas estudantes do mesmo grupo (Aline G1 e Maria G1) destacaram que, ao longo do processo de modelagem, ocorre a avaliação das idéias à medida que elas são colocadas pelos integrantes, julgando a validade de cada uma: *“A gente foi eliminando teorias: ah, isso não dá por causa disso, isso não dá por causa de outra coisa...”* (Maria G1). Isto parece explicitar a compreensão destas estudantes sobre a necessidade de ocorrer a seleção de conhecimentos e idéias coerentes com o modelo que se deseja desenvolver.

## Entrevista 2

Na segunda entrevista, foi feito um questionamento aos estudantes sobre as principais dificuldades encontradas nos processos de modelagem vividos (para a cola, ligação iônica e interações intermoleculares), ao qual apenas um estudante (Márcio G6) respondeu não ter encontrado dificuldades. Entre os outros estudantes, dois destacaram dificuldades relacionadas à compreensão de conteúdos específicos, como a *“relação entre pares iônicos e compostos (cristais) com a energia”* (Vinícius G5) e entender o gráfico do poço de potencial (Pablo G3). Dois outros (Breno G4 e Gisele G4) destacaram dificuldades relativas ao processo de obter informações e construir explicações, o que foi contrastado pelos estudantes com o processo tradicional de ensino:

*“Como estamos acostumados a já receber informações ‘prontas’ de livros ou através da explicação dos professores, foi bastante difícil – porém muitíssimo importante – a construção de idéias e modelos sem essa ajuda.”* (Gisele G4)

Duas outras estudantes (Aline G1 e Élide G5) destacaram a dificuldade do processo de construção dos modelos em grupo para o estabelecimento de consenso e convergência das idéias. Uma delas respondeu que o mais difícil foi

*“...convencer e ser convencido. Estamos, muitas vezes, bastante presos a algumas idéias e é difícil nos ‘desprender’ delas para desenvolver outro ponto de vista.”* (Aline G1).

A outra estudante, apesar de reconhecer a dificuldade do trabalho em grupo, salientou a contribuição desse processo da seguinte maneira:

*“Achei um pouco complicado criar um modelo em grupo, onde há idéias que se divergem. Agora, no entanto, encaro esta ‘dificuldade’ positivamente por ter induzido reflexões e discussões (mesmo que pessoais).”* (Élida G5)

A estudante Maria G1 destacou como dificuldade do processo a incerteza sobre as idéias estarem corretas e, às vezes, poder ocorrer de a construção seguir um caminho errado em função de alguma dessas idéias serem incorretas. A estudante Bruna G2 destacou dificuldades neste mesmo sentido. Ela não mencionou o uso de idéias erradas, mas a falta de conhecimentos que às vezes são necessários para a condução do processo:

*“O mais difícil foi, realmente, pensar em uma proposta coerente em todos os aspectos que já conhecemos para explicar algumas características. Isto acaba se tornando mais difícil porque às vezes não sabemos de coisas que, mesmo indiretamente, se fazem necessárias.”*

Comparado à primeira entrevista, nesta segunda entrevista mais estudantes destacaram dificuldades associadas ao processo de construção dos modelos e, principalmente, é possível observar o destaque de mais dificuldades relacionadas ao processo de modelagem em detrimento às dificuldades de conteúdo.

Os estudantes foram solicitados a identificar qual modelo foi mais difícil de ser elaborado: o da cola ou o da ligação iônica. Neste momento, oito estudantes (Vinícius G5, Pablo G3, Breno G4, Gisele G4, Aline G1, Élida G5, Maria G1 e Bruna G2) afirmaram que elaborar o modelo para a cola foi mais difícil. Três desses estudantes (Pablo G3, Breno G4 e Bruna G2) justificaram esta resposta com base no conteúdo do modelo, afirmando que eles já apresentavam alguma idéia sobre ligações químicas e, por isso, tiveram mais facilidade na elaboração do modelo para a ligação iônica. Os outros cinco estudantes justificaram a maior facilidade para elaborar o modelo para a ligação iônica em função da maior quantidade de dados fornecida durante as atividades, conforme claramente expresso na seguinte fala:

*“Para a ligação iônica, a gente tinha mais idéia de como tinha que se, porque tinha mais informações sobre aquelas energias e a professora ia perguntando... para a cola a gente fez e pronto. Não dava para saber.”* (Pablo G3)

A fala deste estudante explicita, ainda, a importância da condução da professora na condução do processo. O único estudante que afirmou que a elaboração do modelo da cola foi mais fácil (Márcio G6) apresentou como justificativa o fato de não ter que alterar o modelo da cola, segundo ele *“era só uma idéia, não precisava estar certo”*. A partir disso é possível observar

que a dificuldade apontada pelos demais estudantes, que de certa forma esteve associada à incerteza da validade dos modelos, foi justamente o aspecto destacado por Márcio G6 como a sua maior facilidade em relação à construção do modelo para a cola.

Ao serem questionados sobre se houve alguma etapa descrita para o processo de modelagem, dentre aquelas expressas na Atividade 2 da estratégia da cola, que não havia sido realizada para a ligação iônica, sete estudantes responderam negativamente. Desses sete, três (Aline G1, Bruna G2 e Maria G1) destacaram que poderiam mudar a ordem ou o nome das etapas, mas elas ainda seriam as mesmas, como destacado pela estudante Aline G1: *“se eu fosse trocar os nomes de cada etapa da atividade 2 por uma única palavra eu colocaria: composição, interação, comparação e montagem.”* Esta colocação da estudante se deve ao fato de, na Atividade 2, o nome das etapas estarem relacionados a conteúdos ou termos específicos para a cola (discussão da composição da cola, dos materiais que ela cola ou não; tipos de interação; diferença entre a cola “forte” e a “fraca”; montagem do modelo final). Um estudante (Pablo G3) respondeu destacando o fato de tanto a cola quanto a ligação iônica compreenderem o mesmo assunto (ligações), motivo pelo qual ele afirmou que foi possível empregar as mesmas etapas.

As duas estudantes que identificaram diferenças entre as etapas dos processos de modelagem destacaram etapas que não haviam sido realizadas no modelo para a ligação iônica. Gisele G4 afirmou que não havia realizado a pesquisa de explicações científicas para comprovar o modelo ao longo do processo porque a professora não permitiu a consulta ao livro. Élide G5 também destacou uma etapa que ela não havia realizado para a ligação iônica: *reproduzir o fenômeno*. Ela justificou que tal etapa não foi empregada porque a dissolução do NaCl na água é um processo conhecido por todos os alunos.

Esses dados nos permitem afirmar que alguns estudantes responderam não perceber diferenças entre as construções realizadas pensando no processo mais geral da construção dos modelos. Entretanto, assim como ocorreu com Pablo G3, é possível que alguns deles não tenham identificado diferenças por julgarem que os conteúdos dos dois sistemas modelados eram muito próximos.

Outra questão discutida com os estudantes foi se eles haviam empregado algum procedimento para a construção do modelo da ligação iônica que não havia sido usado para a cola. Três estudantes afirmaram que não (Márcio G6, Pablo G3 e Gisele G4) e entre os seis que afirmaram que sim, quatro (Maria G1, Aline G1, Bruna G2 e Élide G5) justificaram com base em diferenças nos conteúdos dos modelos, conforme evidenciado por Élide G5: *“Na Atividade 2*

*não deixei explícito que formulamos uma estrutura para a ligação entre os íons  $Na^+$  e  $Cl^-$ .*” Dois estudantes salientaram diferenças sobre os processos em si: Breno G4 destacou que na estratégia da ligação iônica houve o processo de observar os modelos dos outros grupos e Vinícius G5 destacou que na estratégia da ligação iônica existiram momentos para buscar novos dados visando aperfeiçoá-lo.

Sobre a comparação entre o processo de construção de modelos vivenciado na sala e a construção de modelos pelos cientistas, todos os estudantes reconheceram a existência de semelhanças. Entre elas, eles destacaram: a busca de explicações; a avaliação de hipóteses; os passos empregados; e a possibilidade de alterar os modelos diversas vezes. Entre as diferenças, foram destacadas: a maior dedicação dos cientistas; os experimentos mais complexos e apurados realizados pelos cientistas, muitas vezes devido à existência de mais recursos técnicos para validar os dados; a impossibilidade de os cientistas buscarem respostas prontas na literatura em função de eles trabalharem com questões inéditas; a sistematicidade do processo de elaboração do modelo com maior cuidado no trabalho com os dados; a maior quantidade de informações e conhecimentos prévios dos cientistas; o fato de o processo realizado pelos cientistas ser mais aprofundado; o fato de as atividades em sala de aula disponibilizarem os dados e de eles, estudantes, saberem que os mesmos são corretos, enquanto os cientistas têm que pesquisar ou coletar tais dados e, ainda, precisam se certificar se eles estão corretos; o fato de, em sala de aula, a professora conduzir o processo e saber onde os estudantes devem chegar, enquanto os cientistas não têm alguém para orientar nesse sentido.

Em relação à Questão 5 da 1ª Avaliação Parcial (Anexo 9), foi elaborado um quadro (Quadro 10), semelhante ao quadro 9, em que são apontadas as etapas citadas pelos estudantes e a ordem em que elas foram propostas.

Ao identificarem etapas do processo de modelagem, em geral os estudantes propuseram etapas mais gerais, menos vinculadas ao conteúdo dos modelos, se comparadas às respostas apresentadas no quadro 9. Outras diferenças possíveis de ser observadas foram a contemplação das etapas de: teste do modelo, apesar de esta ter sido citada por apenas três estudantes (Bruna G2, Gisele G4 e Maria G1); discutir o modelo com mais pessoas (Maria G1) e escolher o modelo mais adequado (Breno G4), que não haviam sido citadas na primeira entrevista.

Principais etapas envolvidas no processo de modelagem	Estudantes
Pensar no fenômeno/sistema	Maria G1 (1/6), Aline G1 (1/5), Bruna G2 (1/4), Vinícius G5 (2/5), Gisele G4 (2/6), Pablo G3 (1/5), Márcio G6 (1/5).
Selecionar conhecimentos prévios	Maria G1 (3/6), Aline G1 (3/5), Bruna G2 (2/4), Élide G5 (3/4), Vinícius G5 (4/5), Breno G4 (3/5), Gisele G4 (1/6), Márcio G6 (2/5).
Fazer experimentos (para buscar informações sobre o sistema)	Maria G1 (2/6), Vinícius G5 (1/5), Breno G4 (1/5).
Estudar o fenômeno/sistema	Bruna G2 (3/4), Élide G5 (1/4), Breno G4 (2/5), Pablo G3 (2/5).
Buscar/Pesquisar mais informações sobre o sistema	Aline G1 (2/5), Élide G5 (2/4), Vinícius G5 (3/5), Gisele G4 (3/6), Pablo G3 (3/5).
Elaborar o modelo	Aline G1 (4/5), Breno G4 (4/5), Márcio G6 (3/5).
Testar o modelo mentalmente	Bruna G2 (4/4), Gisele G4 (4/6).
Testar o modelo empiricamente	Maria G1 (5/6).
Representar o fenômeno	Maria G1 (4/6).
Representar o modelo	Aline G1 (5/5), Vinícius G5 (5/5).
Complementação/reelaboração do modelo	Gisele G4 (6/6), Pablo G3 (5/5), Márcio G6 (5/5).
Verificar se o modelo atende aos objetivos propostos	Élide G5 (4/4), Gisele G4 (5/6), Pablo G3 (4/5), Márcio G6 (4/5).
Discutir o modelo com mais pessoas	Maria G1 (6/6).
Escolher o modelo mais adequado	Breno G4 (5/5).

Quadro 10. Etapas do processo de modelagem identificadas pelos estudantes Questão 5 da 1ª Avaliação Parcial.

Todos os estudantes identificaram etapas relacionadas à aquisição de informações sobre o sistema: *pensar no fenômeno/sistema*; *selecionar conhecimentos prévios*; *fazer experimentos (para buscar informações sobre o sistema)*; *estudar o fenômeno/sistema* ou *buscar/pesquisar mais informações sobre o sistema*. Estas foram as principais etapas citadas, havendo grande recorrência do apontamento da seleção de conhecimentos prévios, o que parece evidenciar um reconhecimento dos estudantes sobre a relevância deste quesito no processo de construção.

A complementação do modelo foi apresentada por três estudantes (Gisele G4, Pablo G3, Márcio G6). Dois deles (Pablo G3 e Márcio G6) haviam participado da primeira entrevista e, naquele momento, somente Márcio mencionou esta etapa. Da mesma forma, apenas uma estudante (Tatiana G5) havia citado a etapa *verificar se o modelo atende aos objetivos propostos* na primeira entrevista, enquanto nesta questão quatro estudantes a citaram (Élida G5, Gisele G4, Pablo G3, Márcio G6), sendo que dois deles (Pablo G3 e Márcio G6) haviam participado da primeira entrevista.

As etapas de elaborar e representar o modelo foram mencionadas por três (Aline G1, Breno G4, Márcio G6) e dois estudantes (Aline G1, Vinícius G5), respectivamente. Comparado à primeira entrevista, estas etapas foram menos citadas do que antes (quando elas foram citadas por seis e quatro estudantes, respectivamente).

Foi perguntado aos estudantes se eles acharam que, à medida que as atividades se sucederam, foi ficando mais fácil ou mais difícil construir os modelos, ou se não houve diferença. Seis estudantes (Bruna G2, Élida G5, Maria G1, Rose G4, Vinícius G5 e Aline G1) afirmaram que foi ficando mais fácil construir os modelos. Todos eles justificaram suas respostas com base no desenvolvimento de seus conhecimentos sobre *como construir modelos* ou *como integrar os dados e as idéias*. É importante destacar, contudo, que aqueles que afirmaram ter desenvolvido seus conhecimentos sobre *como construir modelos* não o fizeram pensando em um método específico ou em uma seqüência de etapas a serem seguidas. Os outros três estudantes (Breno G4, Gisele G4, Elen G6) afirmaram que não acharam que ficou mais fácil ou mais difícil devido à diferença dos conteúdos envolvidos:

*“Não quer dizer que fica mais fácil não, mas mais difícil também não ficou não. Assim, a gente sabe alguma coisa a mais que dá pra ajudar, mas o conteúdo é diferente, aí é diferente.”* (Breno G4)

*“O negócio que fica mais fácil é, por exemplo, ela [professora] deu matéria, teve o modelo, aí o próximo modelo dessa matéria vai ficando mais fácil, porque aí é só ir aprofundando. Quando inicia outra matéria, a dificuldade da gente volta a subir assim, porque você tem que começar descobrir tudo daquela coisa.”* (Gisele G4)

### Entrevista 3

Na terceira sessão de entrevistas, inicialmente os estudantes justificaram a escolha dos sistemas modelados na questão 7 da Avaliação Final (Anexo 10). Dos nove estudantes entrevistados, oito deles (Bruna G2, Breno G4, Élida G5, Gisele G4, Maria G1, Rose G5, Elen G6 e Vinícius G5) justificaram a escolha do sistema por terem mais conhecimentos prévios sobre o mesmo, enquanto um (Aline G1) justificou com base em sua curiosidade, alegando que sua

escolha foi feita justamente por não saber como funcionava o sistema escolhido (o cartão telefônico). Os sistemas modelados foram bastante diversificados, sendo que apenas a estudante citada escolheu o cartão telefônico, três elaboraram modelos para o forno de microondas (Bruna G2, Elen G6 e Vinícius G5), dois para o spray (Élida G5 e Rose G5), dois para o aparelho de medir pressão (Gisele G4 e Maria G1) e um para o chocolate Suflair (Buno G4).

Os estudantes que elaboraram modelos para o forno de microondas afirmaram que as aulas de física, nas quais haviam aprendido sobre ondas e radiação eletromagnética, forneceram conhecimentos prévios para a elaboração dos modelos. Além disso, os estudantes destacaram o uso cotidiano desse eletrodoméstico para fornecer informações, em especial sobre o seu funcionamento.

A escolha do spray também foi justificada com base nas aulas de física sobre pressão. Conhecimentos cotidianos sobre o spray também foram citados pelos dois estudantes, como é possível observar na fala da Élida G5:

*“Eu fui pensando no mecanismo de apertar e quando aperta o que acontece, sabe? E o porquê que sai. E quando sai, sai geladinho. Aí eu tava pensando assim: por que sai desse jeito sabe? Ou por que um líquido – aí eu lembrei que quando eu mexia era líquido – por que não vai sair líquido. Vai sair aquelas... Porque não é gás, sai umas gotículas...”*

Élida G5 também afirmou que, muitas vezes, não sabia distinguir os conhecimentos aprendidos nas aulas de física daqueles aprendidos em outro momento ou contexto. Segundo ela, *“mistura tudo na cabeça”*.

Os estudantes que escolheram o aparelho de medir pressão também afirmaram ter adquirido conhecimentos a respeito do mesmo em aulas anteriores, no caso, da disciplina de biologia. Ambas as estudantes, porém, não se lembravam de toda a explicação da aula de biologia e, com isso, elas tiveram de elaborar alguns pontos do modelo o que, segundo elas, foi feito pensando no funcionamento do aparelho:

*“(...) foi mais a parte da explicação que a professora deu. Mas aí eu não lembrava de tudo, mas é uma coisa que você pode relacionar né, não é aquela coisa que tá certa assim, você já tem um conhecimento, você já viu isso. Então é diferente. Fica mais fácil. Essa eu achei fácil até.”* (Maria G1)

O estudante Breno G4 não mencionou qualquer conhecimento escolar sobre o sistema modelado, mas destacou que ele sabia como era o chocolate Suflair, com bolinhas de ar dentro, e sabia como se faz chocolate, derretendo a massa e colocando na forma. Assim, ele apenas agregou a esse processo o fato de que o ar tem que ser bombeado para dentro da forma.

Apesar de a estudante Aline G1 ter justificado a escolha do sistema cartão telefônico pelo fato de ela achar mais interessante, ao descrever o processo de elaboração do modelo foi possível observar o destaque de diversos conhecimentos prévios sobre as características do cartão ou sobre o seu uso (o cartão tem um código de barras; à medida que se usa o cartão as unidades diminuem), os quais foram empregados para o desenvolvimento de seu modelo.

Desta forma, a análise desses dados mostrou que a construção dos modelos para os sistemas esteve diretamente associada à disponibilidade dos conhecimentos prévios dos estudantes, sendo tais conhecimentos teóricos ou práticos (nesse segundo caso, associados ao relação ao uso dos sistemas descritos). Para que o modelo construído fosse coerente com o sistema, eles se preocuparam em considerar suas características, integrá-las e propor um modelo condizente com as mesmas.

Os estudantes também foram questionados sobre o que eles fariam de diferente para elaborar seus modelos, caso o processo de construção ocorresse em outro contexto, em que eles tivessem mais tempo e liberdade nas ações. Dentre os nove entrevistados, apenas Maria G1 afirmou que não faria qualquer alteração em seu modelo. Sua justificativa se baseou no fato de ela achar o sistema bastante simples (aparelho de medir pressão) e acreditar possuir conhecimentos suficientes para elaborar o modelo. A outra estudante que elaborou modelo para o aparelho de medir pressão (Gisele G4) também afirmou que julgava o modelo muito fácil de ser elaborado, uma vez que ela acreditava conhecer bem o funcionamento do sistema. Isto pode indicar que, em função dos conhecimentos desenvolvidos nas aulas de biologia, os estudantes já apresentavam um modelo prévio sobre o funcionamento desse aparelho, dispensando ações como buscar mais informações ou explorar propriedades do sistema. Gisele G4 não citou nenhum procedimento para incrementar a elaboração de seu modelo, mas destacou que isto decorria de características do sistema escolhido, sendo necessário, para outros sistemas, reunir mais informações do que as que ela dispunha. Apesar de não mencionar alterações no processo de elaboração do modelo, ela destacou a necessidade de representá-lo melhor, facilitando a compreensão de outra pessoa sobre a explicação proposta.

Outra estudante que destacou a necessidade de melhorar a representação foi Élide G5 que, além disso, destacou a possibilidade de, em outro contexto, elaborar um modelo mais amplo, capaz de prover mais explicações sobre o mesmo sistema. Ela também mencionou a possibilidade de realizar testes empíricos tanto para testar hipóteses quanto para avaliar se o modelo atende aos seus propósitos. A idéia de testes empíricos foi apontada, com os mesmos propósitos, por Bruna G2 e Breno G4. Além do propósito de testar os modelos, Bruna G2, Rose

G5 e Vinícius G5 destacaram a possibilidade de realizar testes empíricos para obter mais informações sobre o sistema. Desta forma, ao todo, cinco estudantes mencionaram a contribuição dos testes empíricos para o processo de modelagem, independente da etapa em que eles seriam empregados. A menção ao uso dos testes empíricos pode ter ocorrido em função dos sistemas disponibilizados aos estudantes, os quais consistiram em sistemas macroscópicos concretos acessíveis a eles (mesmo que, para alguns sistemas, o modelo envolvesse explicações submicroscópicas ou mais abstratas). Isto contrasta com as idéias apresentadas na primeira entrevista, em que apenas um estudante mencionou o uso de experimentos no processo de elaboração dos modelos.

Outro aspecto que, segundo os estudantes, seria diferente na elaboração de seus modelos em outro contexto seria a busca por mais informações na literatura, conforme mencionado por cinco deles (Aline G1, Gisele G4, Rose G5, Elen G6 e Vinícius G5). Também nesse caso é possível que eles tenham mencionado este aspecto devido aos sistemas apresentados serem amplamente conhecidos, o que, talvez, os levou a não considerar a necessidade de elaboração de modelos inéditos. Esta idéia foi explicitada na seguinte fala, sobre o sistema microondas:

*“Ah! Olhar melhor o funcionamento dessas ondas, como que elas agem no alimento. Porque eu acho que tem como explicar isso. Ah, já deve ter isso em algum lugar... Eu acho que num livro de física...”* (Elen G6)

Quando questionados sobre os principais atributos para a construção de um modelo, o mais destacado pelos estudantes foi a existência de conhecimentos prévios, mencionados por quatro estudantes (Aline G1, Maria G1, Gisele G4 e Élide G5). Élide G5 destacou não apenas a necessidade de conhecimentos prévios, mas que tais conhecimentos devem ser especificamente modelos já conhecidos.

Quatro estudantes (Aline G1, Bruna G2, Elen G6 e Élide G5) destacaram a necessidade de se integrar idéias e conhecimentos para a elaboração dos modelos. A execução de testes empíricos para avaliar a validade do modelo foi citada por três estudantes (Élide G5, Breno G4 e Gisele G4), o que mais uma vez contrasta com a primeira entrevista, em que não foi mencionado este aspecto nas etapas de construção do modelo. Outros aspectos citados foram: pesquisar na literatura (Bruna G2 e Rose G4); justificar os passos (Aline G1 e Vinícius G5); observar o fenômeno (Breno G4); e usar dados experimentais (Elen G6). Uma estudante (Aline G1) enfatizou um aspecto inédito ao longo de toda a entrevista: a criatividade.

É importante pontuar que, nessa entrevista, os estudantes não foram questionados em relação às etapas do processo de modelagem, mas em relação a atributos necessários à construção dos modelos. Apesar disso, a maioria dos aspectos destacados por eles coincidiram com etapas previamente citadas. Os únicos elementos que não se referiram propriamente a etapas do processo de construção de modelos foram: a criatividade, citado por Aline G1 e a necessidade de se justificar os passos empregados na construção dos modelos (Maria G1 e Élide G5).

### **Algumas considerações sobre o conjunto de dados das entrevistas**

Apesar de não terem sido os mesmo estudantes que participaram das três entrevistas, considerando suas respostas e nosso conhecimento geral dos alunos da turma, assumimos que suas idéias eram representativas do conhecimento da turma. Isto nos permitiu identificar algumas modificações e estabelecer comparações entre alguns dados coletados nos três momentos.

Quando perguntados sobre as dificuldades encontradas na elaboração dos modelos, apenas dois estudantes associaram tais dificuldades ao processo na primeira entrevista, contra cinco estudantes na segunda entrevista. Esta diferença, inclusive nas respostas de estudantes que haviam justificado com base em dificuldades nos conteúdos na primeira entrevista (Breno G4, Maria G1), pode estar associada ao fato de eles atribuírem maior ênfase ao processo do que propriamente ao conteúdo do modelo, ou ainda, devido aos fatos de serem fornecidas mais informações e de ocorrer avaliação dos modelos para a ligação iônica. Isto pode ter contribuído para que as dificuldades de conteúdos se tornassem menos perceptíveis frente às dificuldades de condução do processo.

Em todos os momentos em que os estudantes tiveram a oportunidade de expressar os passos empregados no processo de elaboração de modelos, as etapas mais salientadas se referiram à obtenção de informações sobre o sistema, sendo observada uma ênfase no papel dos conhecimentos prévios e mesmo um aumento na menção desta etapa (o que foi observado da primeira para a segunda entrevista, quando 6 e 8 estudantes citaram esta etapa, respectivamente). Na última entrevista, os conhecimentos prévios foram citados por oito estudantes (dos nove) ao justificarem a escolha dos sistemas modelados, e a única estudante que não mencionou este aspecto em tal momento, o fez ao citar os atributos que ela julgava necessário na elaboração dos modelos. Ou seja, 100% dos estudantes manifestaram, na última

entrevista, o reconhecimento da importância dos conhecimentos prévios no processo de modelagem.

Outro aspecto que foi mais citado na última entrevista, em relação às anteriores, foi a possibilidade de se testar os modelos empiricamente, sendo apontado por quatro estudantes na terceira entrevista (Élida G5, Bruna G2, Breno G4, Gisele G4), contra apenas uma estudante na segunda entrevista (Maria G1) e nenhum estudante na primeira entrevista.

O fato de, na última entrevista, duas estudantes citarem a necessidade de se justificar os passos empregados na construção dos modelos, ressalta a compreensão dessas sobre a importância de se considerar não apenas o produto final da modelagem, mas também o processo em si.

Na última entrevista, um aspecto bastante diferenciado em relação aos dados anteriores foi o fato de cinco estudantes (Aline G1, Gisele G4, Rose G5, Elen G6 e Vinícius G5) terem apresentado explicitamente a possibilidade de buscar mais dados na literatura, o que não foi mencionado em outras entrevistas, o que indica que, apesar de as atividades em sala de aula não terem possibilitado esta busca de informações na literatura, os estudantes demonstraram reconhecer esta possibilidade.

## CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Considerando que o primeiro produto desta pesquisa – a ferramenta desenvolvida para a análise das habilidades manifestadas pelos estudantes durante as atividades de modelagem – e que o foco de cada uma das duas questões de pesquisa apresentam naturezas diferentes, este capítulo apresenta nossas principais conclusões e algumas implicações em relação a cada um deles separadamente.

### **Sobre a ferramenta de análise**

A ferramenta de análise desenvolvida e empregada neste trabalho se mostrou bastante satisfatória em relação à possibilidade de, a partir dela, serem identificadas todas as habilidades empregadas pelos estudantes em suas ações, possibilitando, ainda, a caracterização da manifestação dessas habilidades, isto é, se ela ocorreu de forma completa, satisfatória, ou de outra forma.

O emprego desta ferramenta de análise ocorreu a partir da perspectiva de que as habilidades estão associadas à operacionalização de um *saber fazer*, conforme apresentado por diversos referenciais que embasaram o presente trabalho (como, por exemplo, Perrenoud, 1999; Brasil, 2002; Chamizo, & Izquierdo, 2007). A partir disso, assumimos a possibilidade de mensurar tais habilidades através da análise a ação dos estudantes em determinados contextos.

Deve-se ressaltar que a viabilidade da caracterização das habilidades ocorreu em função de ações que as explicitaram diretamente ou, ainda, por meio de ações que indicaram o caminho do raciocínio do estudante. Isto ocorreu principalmente nos momentos de expressão dos modelos, em que as idéias dos estudantes tornaram-se mais acessíveis, explicitando claramente: os modelos prévios que eles usaram, as analogias que eles estabeleceram com outros sistemas, os elementos do sistema que eles julgavam mais relevantes para a composição de seus modelos, a consideração sobre as limitações de suas idéias, entre outros. O acompanhamento das discussões nos grupos e o fato de terem sido usadas diversas formas de expressão dos modelos foram essenciais para a identificação de tais habilidades.

A utilização da ferramenta de análise tornou possível identificar as habilidades que não foram empregadas pelos estudantes ou, pelo menos, não foram identificadas no processo. Isto favorece a avaliação da própria estratégia de ensino em relação à sua demanda cognitiva,

tornando possível retomar a estrutura da estratégia de ensino e propor reestruturações, de forma que ela amplie seu alcance em termos de requerer o emprego de determinadas habilidades e/ou proporcionar momentos em que os estudantes possam manifestá-las.

O fato de as estratégias de ensino analisadas no presente trabalho não terem proporcionado a condução de testes empíricos para os modelos elaborados inviabilizou a validação das categorias elaboradas para a avaliação das habilidades relacionadas a esta etapa do processo de modelagem. Desta forma, faz-se necessário o emprego desta ferramenta em contextos que contemplem esta etapa do processo, para que as categorias, bem como seus descritores, sejam devidamente validados.

O emprego da ferramenta na análise de três estratégias de ensino está de acordo com a perspectiva de que a avaliação da habilidade deve ocorrer em diversos momentos e em diferentes contextos, conforme previamente apontado por diversos documentos (por exemplo Haider, & Frensch, 1996; Perrenoud, 1999; C. Gomes, 2005). Assim, tentou-se promover a avaliação das habilidades dos estudantes em detrimento à avaliação do desempenho desses, naquela determinada situação. Não assumimos aqui que a avaliação de uma habilidade seja indissociável do desempenho do seu emprego. Contudo, entendemos que um maior número de contextos tende a minimizar a possibilidade de um mau desempenho associado a especificidades que podem comprometer as ações dos estudantes.

A elaboração da ferramenta de análise ocorreu em um contexto de pesquisa, com o propósito de promover maior apreensão de elementos envolvidos no processo na medida em que foram coletados múltiplos dados. Acreditamos que esta ferramenta poderá ser empregada de forma mais ampla em outras pesquisas que envolvam atividades de modelagem, contribuindo para a avaliação deste processo e, assim, contribuindo para preencher uma lacuna da área, apontada por estudos como Lopes e Costa (2007) e Sins *et. al* (2009). Ao mesmo tempo, esperamos que a aplicação desta ferramenta de análise a processos de modelagem venha de encontro aos aspectos que foram identificados como limitações em outras pesquisas, como: a análise se limitar ao produto final do processo de modelagem (como em Smith *et. al.*, 1992; Schwarz, & White, 2005; Lopes, & Costa, 2007); a avaliação de conteúdos ser priorizada em detrimento à avaliação do processo (Lopes, & Costa, 2007); a avaliação da modelagem se restringir à apreensão de conhecimentos declarativos e ocorrer desvinculada de contextos reais de aplicação do conhecimento (Schwarz, & White, 2005).

Esta ferramenta não se faz adequada para se pensar em uma avaliação em um contexto regular de ensino, uma vez que demanda tempo, captura de dados e análise que não

são compatíveis com esse contexto. Contudo, acreditamos que, por propor quais habilidades estão relacionadas ao processo de modelagem e meios de promover a análise das mesmas, esta ferramenta de análise possa subsidiar a elaboração de avaliações do *processo* de modelagem e/ou das habilidades empregadas pelos estudantes em contextos regulares de ensino.

Além disso, o conhecimento do professor sobre a análise desenvolvida neste trabalho pode auxiliar em sua reflexão sobre as atividades desenvolvidas em sala de aula e promover um melhor desenvolvimento quando se pensa na condução de uma avaliação formativa. Esta afirmação se deve à possibilidade de o professor desenvolver seu conhecimento sobre diversas habilidades que devem ser promovidas no ensino, sobre como elas podem ser manifestadas pelos estudantes e sobre como as etapas do processo de modelagem podem contribuir para que tais habilidades sejam manifestadas e/ou desenvolvidas. Desta forma, o planejamento de atividades, de intervenções e mesmo de avaliações pode ser feito na perspectiva de o ensino visar também o desenvolvimento de habilidades dos estudantes.

### **Sobre as habilidades investigativas no processo de modelagem**

A análise desenvolvida para atender à primeira questão de pesquisa – *“Quais habilidades cognitivas são empregadas e/ou desenvolvidas por estudantes do ensino médio ao longo de atividades de ensino de química baseadas em modelagem?”* – buscou evidenciar as habilidades manifestadas ao longo do processo de modelagem, permitindo associar a manifestação dessas habilidades a outros elementos do processo. A unidade de análise utilizada foi o grupo, de forma que não houve distinção na análise do que foi manifestado por cada indivíduo, isto é, não fizemos um estudo longitudinal por aluno. Isto foi feito em virtude da forma como as atividades foram desenvolvidas em sala de aula.

Ao se considerar as etapas relacionadas ao processo de modelagem que foram identificadas a partir do diagrama Modelo de Modelagem (figura 2), é evidente o predomínio da etapa *ter experiência com o alvo* em todos os processos analisados. Ou seja, esta etapa configurou o pano de fundo da maioria das ações dos estudantes, indicando a necessidade de habilidades associadas à reunião de informações (seja por meio da observação do sistema, de conhecimentos prévios, ou por questionamentos direcionados à professora) e à seleção daquelas relevantes para a proposição dos modelos pelos estudantes.

Em muitos momentos da análise, foi difícil a diferenciação entre o que seria classificado como seleção de conhecimentos (prévios ou oriundos da análise dos sistemas) ou

elaboração de hipóteses. Optamos por considerar o levantamento de hipóteses como uma forma de selecionar conhecimentos na estrutura cognitiva, mesmo que envolvesse um processo de integração de idéias. Desta forma, assumimos que tal levantamento de hipóteses também consistiu em uma forma de ter experiência com o alvo, uma vez que esta etapa está associada à obtenção de mais informações sobre o sistema e o levantamento de hipóteses relacionou-se a este mesmo propósito.

Ainda em relação aos conhecimentos dos estudantes utilizados na elaboração de seus modelos, seus conhecimentos prévios foram decisivos para prover mais informações sobre os sistemas e para proporcionar a construção de modelos por meio de analogias. Na análise dos processos dos dois grupos, G1 e G2, para a construção do modelo da cola, ficou nítida a diferença dos conhecimentos prévios selecionados e empregados pelos estudantes. Isto resultou em os participantes de G2 estabelecerem mais analogias inadequadas e demorarem mais a compor um modelo que eles julgassem coerente para explicar o funcionamento da cola. Nos processos posteriores, não foram observadas diferenças tão significativas em relação aos conhecimentos prévios dos estudantes, o que pode estar associado ao fornecimento de mais dados pelas atividades e à condução do processo pela professora.

A análise dos processos vivenciados pelos grupos explicitou como a condução das etapas do processo de modelagem favoreceu a utilização de determinadas habilidades e vice-versa, o que contribui para corroborar as considerações teóricas que levaram à proposição do quadro 2. Os exemplos mais claros de associação entre habilidades e a condução do processo de modelagem foram:

- i. A busca por ampliar o conhecimento sobre os sistemas em estudo – seja por meio da *identificação de propriedades do sistema* (que ocorreu por observação dos sistemas empíricos, pela interpretação das informações apresentadas nas atividades ou, ainda, pelos conhecimentos prévios dos estudantes sobre os sistemas ou aplicáveis aos mesmos) ou pela *busca de informações* ao longo das atividades (em geral, por meio de questionamentos à professora, com o propósito de preencher lacunas existentes no conhecimento sobre o sistema ou mesmo de confirmar idéias) – se mostrou fundamental para que os estudantes fossem capazes de *reunir informações necessárias para serem integradas na elaboração de seus modelos*. Nesse sentido, a seleção de conhecimentos e informações coerentes foi decisiva para a posterior elaboração de modelos adequados ao sistema em estudo. As atividades contribuíram

- amplamente para que os estudantes manifestassem, em diversos momentos, habilidades relacionadas à seleção e ao emprego dessas informações.
- ii. A *seleção de modelos prévios apropriados ao sistema em estudo* se mostrou essencial na definição da origem dos modelos, sendo que os relacionamentos corretos ou incorretos levaram à proposição de modelos que foram, respectivamente, adequados ou inadequados aos propósitos do modelo. Dentro do contexto da pesquisa, em geral, os estudantes estabeleceram analogias adequadas entre modelos conhecidos e os sistemas em estudo. As poucas exceções foram devidamente modificadas no processo de construção dos modelos em função das discussões nos grupos e pela condução do processo pela professora.
  - iii. A *integração de idéias, modelos prévios e informações sobre os sistemas para elaboração dos modelos tendo em vista os objetivos definidos anteriormente* foi uma habilidade claramente observada nos processos vividos pelos dois grupos, uma vez que os modelos propostos por eles buscaram abranger aspectos teóricos associados às observações empíricas sobre os sistemas e se apresentaram em acordo com os propósitos iniciais traçados para o modelo.
  - iv. A presença de oportunidades para que os estudantes empregassem seus modelos em contextos mais amplos – apesar de ter ocorrido em poucos momentos ao longo do processo – mostrou-se imprescindível para que os estudantes *considerassem as abrangências e limitações de seus modelos*. Entretanto, constatamos que, muitas vezes, tais considerações não foram espontaneamente desenvolvidas nos grupos. Nas situações em que solicitações nesse sentido foram propostas pelas atividades, os estudantes tiveram a oportunidade de demonstrar a habilidade de *analisar a extensão em que o modelo proposto atingiu seus objetivos*.

A análise dos quadros dos processos (quadros 3 a 8) permitiu observar a recorrência de diversas etapas ao longo dos processos de modelagem, como a retomada dos objetivos ao longo de todo o processo. Neste caso, os estudantes retomaram os objetivos com o propósito de recapitular os aspectos que deveriam ser incorporados ao modelo, de reunir as informações necessárias (em geral, já discutidas pelos grupos) e verificar a coerência entre os aspectos discutidos e o que deveria ser proposto no modelo.

Ao longo do processo, foram observadas algumas habilidades, ou mesmo momentos do processo de modelagem, que não foram devidamente contempladas no processo. Conforme apontado anteriormente, a consideração de abrangências e limitações esteve

presente em poucos momentos do processo. A busca de informações sobre o sistema foi realizada pelos estudantes apenas acessando seus conhecimentos prévios, informações presentes nas atividades e conhecimentos apresentados pela professora. Desta forma, cabe considerar a possibilidade de que eles tivessem o conhecimento sobre diferentes fontes de informação, mas que não o utilizassem em função do contexto em que desenvolveram os processos de modelagem, no qual diversas informações foram prontamente apresentadas a eles, impedindo-os de sentir a necessidade de buscar tais informações. Além disso, em alguns momentos a professora explicitou que os estudantes deveriam elaborar seus próprios modelos, sem consultar o livro didático, o que pode ter inibido os estudantes buscarem informações na literatura. Desta forma, deve-se considerar, na elaboração de novas atividades de modelagem ou mesmo na reelaboração das estratégias analisadas neste trabalho, o incremento de atividades que proporcionem a consideração de abrangências e limitações de modelos – importante aspecto no que tange o conhecimento sobre a aplicabilidade de um modelo (Justi, & Gilbert, 2003) – e a inclusão de situações em que os estudantes desenvolvam habilidades associadas a buscar informações em outras fontes. Neste último caso, poderiam ser favorecidos a capacidade de aprender a aprender e o desenvolvimento da autonomia de aprendizagem, o que é apontado por diversos documentos da área de ensino como um dos objetivos a serem desenvolvidos pela educação (Brasil, 1999; White, & Frederiksen, 2000).

A não realização de testes empíricos ao longo das atividades pode estar associada tanto ao aspecto abstrato dos modelos construídos, uma vez que todos os modelos foram elaborados para o nível submicroscópico (o que está de acordo com a própria natureza da Química) ou, ainda, pode representar uma dificuldade dos estudantes em elaborar testes empíricos para os modelos que eles estavam propondo. Neste caso, isto refletiria uma limitação dos estudantes em visualizar contextos de aplicação de seus modelos, ou de planejar testes empíricos que pudessem resultar em dados relevantes.

Os testes realizados pelos estudantes ocorreram ao rodar o modelo em suas mentes e, com isso, imaginar o funcionamento do modelo proposto em determinada situação. A identificação e caracterização clara desses testes mentais é relativamente difícil para o pesquisador em virtude da impossibilidade de acessar este processo do estudante, que é interno e pessoal, conforme descrito por Justi e Gilbert (2002). Entretanto, em muitos momentos foi possível identificar a ocorrência dessa etapa através da fala do estudante, quando ele explicitou, para o grupo ou para a turma, o seu processo mental da condução do teste, ou mesmo quando expressou e justificou os modelos. Neste último caso, ao expressar o

modelo, o estudante justificou as escolhas do grupo e tentou provar a validade do mesmo, envolvendo-o em situações hipotéticas e exprimindo o resultado. Um exemplo claro de ocorrência de experimento mental associado ao processo de expressão dos modelos foi observado quando um dos componentes de G2 justificou a formação de pares NaCl, para o modelo da ligação iônica, afirmando que, *“se fosse atração por íons o sal deveria formar um grão gigante, pois sempre vai ter uma carga para atrair outra”*.

O uso de representações verbais para a expressão dos modelos foi amplamente empregado pelos estudantes durante as atividades, estando outras formas de representação (gestual, simbólica ou tridimensional) muito menos presentes. A socialização de idéias, dentro dos grupos ou com toda a turma – que é contemplada em todas as atividades de modelagem elaboradas a partir do diagrama Modelo de Modelagem – foi especialmente importante para que os estudantes repensassem a seleção de conhecimentos e eliminassem aqueles que se mostravam incoerentes com o modelo que eles estavam elaborando. Isto foi observado principalmente devido à diversidade de conhecimentos prévios dos integrantes do grupo, o que, muitas vezes, tornou possível que os indivíduos do grupo fossem capazes de julgar a pertinência de certas idéias disponibilizadas por outros colegas.

A observação direta da análise das três estratégias de ensino não fornece muitos dados sobre o processo de desenvolvimento das habilidades dos estudantes. Isto porque, pelos quadros 3 a 8, a observação de determinadas habilidades que eram empregadas de forma limitada (ou mesmo inadequada) pelos estudantes e, de uma estratégia para a outra, se tornaram mais apuradas, é bastante sutil na apresentação da análise. Entretanto, ao longo das atividades, a observação direta do processo permitiu verificar a maior desenvoltura dos estudantes ao construir seus modelos, principalmente em relação ao dinamismo das ações do grupo. Isto viabilizou a construção de modelos iniciais mais rapidamente, isto é, com menos tempo sendo dedicado a discussões improdutivas (no sentido de que elas não contribuíam para ampliar o alcance do modelo) ou repetitivas. Além disso, o conhecimento sobre a inerente presença de limitações nos modelos construídos relacionou-se ao desenvolvimento da habilidade de integrar idéias e propor modelos que respondiam, mesmo que parcialmente, aos objetivos propostos.

No contexto de ensino aqui estudado, foi possível perceber, ao longo das três estratégias, o desenvolvimento da habilidade de comunicação dos estudantes, principalmente em relação à apresentação de suas idéias associadas a justificativas e à percepção dos estudantes sobre o papel de representações concretas na explicitação de suas idéias. Esta

afirmativa se fundamenta na percepção da decrescente necessidade de os estudantes empregarem modelos concretos nas discussões internas aos grupos (o que, ao mesmo tempo, reflete o desenvolvimento da capacidade de os mesmos visualizarem mentalmente os seus modelos).

Outra habilidade associada ao processo de modelagem cujo desenvolvimento pode ser observado ao longo das atividades se refere ao próprio uso de códigos de representação. Os dados evidenciaram que os estudantes estavam familiarizados com códigos convencionalmente empregados na Ciência e no ensino (como o uso de bolinhas para átomos e de palitos para ligações na representação de estruturas moleculares, entre outros) e que, a partir deles e da necessidade de expressar idéias diferentes, foram elaborados novos códigos.

A construção de modelos parece ter sido algo que se tornou natural para os estudantes, sendo que, na estratégia das interações intermoleculares (a última analisada no processo), os estudantes chegaram a construir modelos antes mesmo que fossem solicitados a isso, mostrando a associação do pensamento deles a este processo de construção.

Apesar da dificuldade em verificar o desenvolvimento das habilidades de modelagem dos estudantes ao longo das três estratégias de ensino, dentro de uma mesma estratégia foi possível identificar o gradual incremento da manifestação de algumas habilidades à medida que as atividades de ensino, as novas informações e as diversas discussões os faziam desenvolver suas idéias e incorporar aspectos relevantes para a elaboração dos modelos. Assim, parece que o desenvolvimento de habilidades ao longo da execução de diversos processos de modelagem ocorreu segundo o aumento da complexidade de raciocínio proposto por Halloun (2004).

As considerações sobre o *desenvolvimento* das habilidades dos estudantes são apresentadas com bastante parcimônia neste trabalho, o que se deve à dificuldade de se inferir quais habilidades foram manifestadas e quais foram realmente *desenvolvidas*. Isto está associado à dificuldade de se separar a habilidade do estudante de seu desempenho ao manifestá-la, o que é dependente do contexto de aplicação, dos conteúdos específicos envolvidos e, principalmente do conhecimento dos estudantes para compreender e lidar com determinada situação. Além disso, acreditamos que mesmo fatores afetivos devem ser levados em conta quando se considera a manifestação de determinada habilidade, como a liberdade de o estudante expressar suas idéias, sua relação com os colegas no grupo, entre outros. Assim, não podemos interpretar o fato de, na primeira estratégia de ensino, os estudantes terem conseguido elaborar seus modelos com certa adequação e coerência como indicativo de

que eles já tinham todas as habilidades manifestadas naquele momento. É possível que alguns conhecimentos e habilidades tenham se desenvolvido em função da demanda da situação.

Por outro lado, a identificação de habilidades que não foram manifestadas pelos estudantes ao longo das atividades não indica que eles não tivessem domínio das mesmas, uma vez que a manifestação das habilidades depende do contexto e da demanda da atividade. Assim, a análise realizada em momentos diversos do ensino, ao mesmo tempo em que contribuiu para reduzir o efeito de interferências específicas, evidenciou o desenvolvimento de modelos que envolviam um corpo de conhecimentos prévios bastante próximos (apesar de os problemas serem bem distintos). Isto fundamentou nossa crença de que as habilidades dos estudantes foram manifestadas sem uma interferência significativa de conteúdos totalmente diferentes. Esta ponderação está de acordo com as idéias de Pennington, *et. al* (1995) e Schunn e Anderson (1999), previamente discutidas neste trabalho, de que a possibilidade de transferência de habilidades está associada à capacidade do indivíduo associar esquemas prévios à nova situação colocada. Assim, pensar no desenvolvimento de uma habilidade implica em pensar em sua aplicação em diversos momentos, para que esta possa ser gradualmente incrementada. Entretanto, as situações propostas devem partilhar alguns elementos comuns para que o indivíduo possa conduzir seu raciocínio analógico.

O desempenho dos estudantes ao longo dos processos de modelagem permite-nos afirmar que eles foram capazes, em muitos momentos, de reconhecer e usar adequadamente a linguagem científica, de organizar e integrar diversas informações de diferentes origens e, ainda, de trabalhar em grupo de forma harmoniosa, com discussões produtivas. Estes três aspectos são apontados como algumas das competências científicas básicas que se espera que o indivíduo desenvolva no ensino de Ciências (Duarte, *et. al*, 2006), o que demonstra uma consonância das atividades de modelagem em que os estudantes participaram e as atuais perspectivas traçadas para o ensino de Ciências.

O aspecto dinâmico do processo de modelagem se fez evidente em várias observações relativas à construção dos modelos pelos grupos, como o fato de os estudantes proporem testes para seus modelos ao mesmo tempo em que os expressaram, de terem ocorrido diversas reconstruções dos modelos, assim como diversas retomadas dos objetivos dos modelos. Este aspecto reforça a impossibilidade de se pensar na construção de modelos como um processo linear, ou mesmo com uma seqüência rígida de etapas. Assim, as setas duplas apresentadas no diagrama Modelo de Modelagem (figura 2), indicando flexibilidade em termos de retomar etapas anteriores, estão de acordo com os processos de modelagem

observados no contexto do ensino analisado nesta pesquisa. Além disso, a identificação das etapas do processo de modelagem, conforme apresentadas em tal diagrama, foi facilmente observada no processo de construção de modelos empregado pelos estudantes. Isto corrobora o uso deste diagrama para fundamentar atividades de ensino via modelagem, o que está em acordo com outros estudos realizados em nosso grupo de pesquisa (por exemplo, Maia, & Justi, 2009 e Mendonça, & Justi, 2009b).

Julgamos que uma importante contribuição desta pesquisa é a possibilidade de se estabelecer uma associação clara entre a modelagem e uma série de habilidades investigativas, o que reforça o potencial desse processo no desenvolvimento de tais habilidades. Entretanto, esta afirmação não nos faz considerar que apenas a criação de um contexto para se empregar determinada habilidade garante que esta será desenvolvida. Por exemplo, o estudo desenvolvido por Gomes (2005) evidenciou uma série de dificuldades de os estudantes empregarem determinadas habilidades mesmo depois de terem participado de atividades que as demandavam. Acreditamos que o pleno desenvolvimento das habilidades ocorre em contextos adequados, através do engajamento dos estudantes na condução do processo e com a realização de avaliações que permitam apontar falhas e propor alterações no processo. Assim, apesar de não *garantir* o desenvolvimento das habilidades pretendidas, defendemos que a proposição de diversas atividades de modelagem, adequadas à participação do estudante, potencializa o exercício do pensamento e, conseqüentemente, impõe uma demanda cognitiva que pode levar ao desenvolvimento de tais habilidades. Isto é coerente com a associação das habilidades a um *saber fazer*, conforme as idéias previamente apresentadas e discutidas neste trabalho.

Frente às dificuldades apontadas para se avaliar o desenvolvimento das habilidades dos estudantes, acreditamos na importância de se desenvolver pesquisas na área de metacognição, uma vez que nelas seria possível obter mais dados sobre os estágios de progressão das habilidades dos estudantes através do conhecimento dos próprios sobre seu processo de aprendizagem.

### **Sobre a metacognição em modelagem**

O conhecimento chamado de metamodelagem (Schwarz & White, 2005) abordado neste trabalho compreendeu o conhecimento necessário à condução do processo de modelagem (com destaque para o conhecimento sobre as etapas envolvidas nesse processo), bem como a visão dos estudantes sobre esse processo e seu papel na Ciência. As chamadas *habilidades*

*metacognitivas* foram objeto desta análise no que tange ao conhecimento sobre a construção de modelos. Apesar de estas não terem sido abordadas na primeira questão de pesquisa, conforme anteriormente discutido, assumimos que as habilidades metacognitivas podem ajudar a constituir um efetivo método de trabalho (Veenman, Elshout, & Meijer, 1997) por meio da auto-regulação do processo, o que se torna particularmente importante quando se pensa na condução de atividades investigativas. Assim, reconhecemos que as habilidades metacognitivas também configuram importantes ferramentas nas atividades de investigação podendo, também, ser consideradas habilidades investigativas. Entretanto, estas habilidades podem estar presentes em qualquer etapa do processo de modelagem, mas, ainda assim, não serem explicitadas, por estarem relacionadas a uma série de ações mentais.

Um aspecto investigado na segunda questão de pesquisa foi o conhecimento/reconhecimento dos estudantes sobre as etapas envolvidas em um processo de construção de modelo. Salientamos que esta análise não ocorreu a partir de um modelo de resposta contendo as etapas que os estudantes ‘deveriam’ mencionar. Como eles não receberam qualquer instrução formal sobre *como elaborar um modelo*, julgamos pertinente considerar que seus conhecimentos sobre as etapas envolvidas no processo de construção de modelos eram oriundos de suas vivências e, mais especificamente, das atividades de modelagem mais simples das quais eles participaram no ano anterior. Em todos os momentos em que os estudantes mencionaram etapas envolvidas na construção de modelos, aquelas relacionadas à obtenção de informações sobre o sistema foram as mais destacadas, inclusive quando eles foram solicitados a falar sobre elementos do processo – e não propriamente etapas – (o que ocorreu na entrevista 3). Isto está em acordo com os processos de modelagem vividos em sala de aula, em que foi predominante a etapa de *ter experiência com o alvo*, na qual os estudantes buscaram diversas informações. Além disso, os dados deixaram explícito que os estudantes consideram a relevância dos conhecimentos prévios para elaborar os modelos, uma vez que este aspecto foi amplamente citado nas três entrevistas, inclusive com aumento da citação deste aspecto na segunda entrevista.

Ao longo da análise, foi possível observar que os estudantes ampliaram o reconhecimento de etapas envolvidas na elaboração dos modelos citando, na segunda entrevista, aspectos que antes não haviam sido mencionados na primeira, como o teste dos modelos (mental ou empírico) e a discussão dos modelos com mais pessoas. Verificar se o modelo proposto atinge seus objetivos foi uma etapa notavelmente mais citada na segunda entrevista do que na primeira (quatro e um estudantes, respectivamente). Além disso, a

reelaboração dos modelos também foi mais citada na segunda entrevista (três estudantes contra um da primeira entrevista). Estes dados sustentam nossa consideração de que os estudantes desenvolveram seus conhecimentos sobre o processo de modelagem a partir das atividades em que eles participaram. Mesmo na última entrevista, em que os estudantes não foram solicitados a falar sobre as etapas envolvidas em um processo de modelagem, isto foi apresentado por eles de forma espontânea, assim como o reconhecimento da necessidade de se ter conhecimentos prévios e a presença das etapas de testes e de avaliação dos modelos.

A utilização, neste trabalho, de uma questão que solicitava a elaboração de um modelo para um tema não-químico ao final de todas as atividades de modelagem, foi uma forma de avaliarmos em que medida os estudantes seriam capazes de ampliar para este contexto seus conhecimentos sobre modelagem previamente desenvolvidos. As respostas dos estudantes evidenciaram o reconhecimento de tal solicitação como *mais uma atividade de modelagem*, sendo observada apenas uma diferença notável, conforme será apresentado a seguir, na condução deste para os outros processos de construção de modelos. Desta forma, podemos considerar a ocorrência de transferência de conhecimentos desenvolvidos para um novo contexto, independente do conteúdo. A diferença apresentada entre este processo e as construções anteriores reside no fato de que, para o sistema não químico, os estudantes apresentaram explicitamente a possibilidade de buscar mais dados na literatura, o que não foi mencionado em outras entrevistas. Isto pode estar relacionado ao fato de os modelos anteriores terem sido desenvolvidos especificamente no contexto de ensino, em que eles não poderiam buscar respostas no livro, conforme expresso pela professora. Apesar de as atividades em sala de aula não terem possibilitado esta busca de informações na literatura, os estudantes demonstraram reconhecer esta possibilidade, o que pode advir de seus conhecimentos prévios ou ter sido desenvolvido na tentativa de se resolver o problema proposto.

Sobre a comparação entre o processo de construção de modelos no ensino e na Ciência, todos os aspectos destacados pelos estudantes foram bastante adequados e relevantes, tanto na identificação de semelhanças quanto de diferenças dos dois processos. É possível considerar que os aspectos citados por eles são fruto de uma compreensão sobre modelagem desenvolvida a partir das atividades de ensino, pois, como destacado anteriormente, os estudantes não haviam desenvolvido atividades de modelagem similares àquelas analisadas neste trabalho e, ainda, não haviam recebido qualquer instrução formal sobre modelagem. Contudo, não é possível dizer se eles fizeram tal comparação durante os

processos de modelagem ou se a entrevista (ou mesmo a atividade escrita que a precedeu) os levou a desenvolver tal raciocínio.

Outros conhecimentos sobre modelagem, como a possibilidade de modificar um modelo ou usar um modelo para prever e explicar, como proposto por Schwarz *et al.* (2009), não foram especificamente focadas neste trabalho. Apesar disso, as respostas dos estudantes, em especial na última entrevista (em relação aos modelos para sistemas não-químicos) permitem inferir que, em geral, eles tinham conhecimento sobre a possibilidade de se alterar um modelo e, ainda, eles reconheceram a possibilidade de usar mais de um modelo para explicar aspectos de um determinado fenômeno.

Informações ainda mais apuradas sobre estes aspectos podem ser obtidas pela análise do processo vivido pelos estudantes. Apesar de a análise dos quadros representativos dos processos de modelagem (quadros 3 a 8) sob a perspectiva do metac conhecimento não configurar objeto desta pesquisa, esta ponderação é feita por reconhecermos que a análise desses processos pode fornecer dados relevantes sobre o desempenho dos estudantes em elaborar modelos, em propor alterações em seus modelos, em empregar seus modelos em novas situações e avaliá-los. Em outras palavras, acreditamos que a análise das ações empregadas pelos estudantes ao longo do processo de modelagem possibilita obter importantes dados sobre como eles percebem o processo de modelagem, uma vez que a própria condução do processo e as escolhas realizadas por eles evidenciam isso. Por exemplo, se um estudante promove alterações em seus modelos a partir de novos dados, ele reconhece, ao mesmo tempo, que seus modelos possuem limitações e que modelos podem ser mudados; se um estudante reconhece que seu modelo é válido para um aspecto do sistema e não para outro, ele demonstra reconhecimento sobre o caráter limitado do modelo.

Assumindo as habilidades metacognitivas como importantes habilidades a serem desenvolvidas junto aos estudantes, reconhecemos a necessidade de estudos futuros que investiguem diferentes alternativas para promover o desenvolvimento dessas habilidades em outras atividades no contexto do ensino de Ciências, uma vez que não se deve considerar que esse desenvolvimento decorra exclusivamente da participação em atividades de modelagem.

### **Considerações finais**

Com este trabalho esperamos contribuir para ampliar os conhecimentos sobre as habilidades investigativas associadas ao processo de modelagem (cognitivas ou metacognitivas) e sobre a potencialidade das atividades de modelagem favorecerem o desenvolvimento dos

conhecimentos sobre esse processo. Acreditamos na potencial contribuição deste trabalho para o desenvolvimento de avaliações mais coerentes com um ensino pautado no desenvolvimento de habilidades e, especialmente, no desenvolvimento do conhecimento em modelagem. Esta afirmação é feita assumindo a idéia de C. Gomes (2005) de que uma avaliação deve ter claro um modelo de inteligência, ou seja, deve ter claro *o que se espera encontrar nos estudantes*. Assim, ao associarmos as habilidades empregadas no processo a ações mensuráveis, esperamos contribuir para explicitar o que deve ser avaliado quando se pensa em um ensino de Ciências voltado ao desenvolvimento de habilidades.

Esperamos, ainda, contribuir para que o ensino se desenvolva de forma a contemplar o conhecimento dos estudantes sobre os processos da Ciência e que tais conhecimentos se articulem e integrem uma forma de pensar e, ainda, conforme apontado por McGregor (2007), *“pensar para a vida”*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS, American Association for the Advancement of Science. (1989). *A Science for All Americans. A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology*. Washington: AAAS.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of Cognitive Skill. *Psychological Review*, 89, 369-406.
- Anderson, J. R. (1993). Problem Solving and Learning. *Science Watch*, 48, 35-44.
- Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual solar system project: building understanding through model building. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 719-756.
- Besson, U. & Viennot, L. (2004). Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions in solid friction and fluid statics. *International Journal of Science Education*, 26, 9, 1083-1110.
- Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., & Wiliam, D. (2003). *Assessment for Learning*. New York: Open University Press.
- Brasil. (1998). *Exame Nacional do Ensino Médio: documento básico*. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto.
- Brasil. (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto.
- Brasil, (2002). *PCN+ do Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto.
- Brasil. (2009). *Matriz de referência para o ENEM 2009*. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto.
- Brook, A., Driver, R., & Johnston, K. (1989). Learning process in science: a classroom perspective. In J. Wellington (Ed.), *Skills and processes in science education: A critical analysis* (pp. 63-82). London & New York: Routledge.
- Carvalho, N.B., Queiroz, A.S., Justi, R., & Bastos, D.R. (2006). Elaboração de uma atividade sobre interações intermoleculares fundamentada no processo de modelagem. Trabalho apresentado no XIII Encontro Nacional de Ensino de Química, Campinas, 24-27 de julho.
- Chamizo, A. J., & Izquierdo, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. *Educación Química*, 18, 6-11.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86, 175-218.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22, 1041-1053.
- Clement, J. J. (2008). Model based learning and Instruction in Science. I. In J. J. Clement. M. A. Rea-Ramirez (Ed). *Model Based Learning Instruction in Science*. (pp. 1-9). Dordrecht: Springer.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. *International Journal of Science Education*, 26, 1379-1401.
- Duarte, G. C., Vargas, J. A., Martinez, S., Córdoba, X. I., Pedraza, M. & Amaya, G. F. (2006). ¿Qué competencias científicas promovemos en el aula?. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 20, 62-79.

- Duit, R., & Glynn, S. (1996). Mental Modelling. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes* (pp. 166-176). London: Falmer.
- Duschl, R., & Grandy, R. (2008). Reconsidering the Character and Role of Inquiry in School Science: Framing the Debates. In Duschl, R & Grandy, R. (Ed), *Teaching Scientific Inquiry*. (pp. 1-37). Rotterdam: Sense Publishers.
- Fairbrother, B. (1989). Problems in the assessment of scientific skills. I. In J. Wellington. (Ed), *Skills and Processes in Science Education a Critical Analysis*. (pp. 5-20). London & New York: Routledge.
- Flavell, J. (1979). Metacognitive and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, p. 906-911.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. I. In J. K. Gilbert. C. J. Boulter (Ed.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-18). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, S. (1991). Model Building and a definition of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 73-79.
- Gobert, J., & Buckley, B. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22, 891-904.
- Gomes, A. D. T. (2005). *Reconhecimento e Uso de Testes Experimentais no Laboratório Escolar*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Gomes, C. M. A (2005). *Uma análise dos fatores cognitivos mensurados pelo Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM)*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.
- Gourgey, A. F. (1998). Metacognition in basic skills instruction. *Instructional Science*, 26, 81-96.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their use in Science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Haider, H. & Frensch, P. A. (1996). The Role of Information Reduction in Skill Acquisition. *Cognitive Psychology*, 30, 304-337.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25, 645-670.
- Justi, R. S. (2006). La Enseñanza de Ciencias Basada en la Elaboración de Modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 2, 173-184.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003). Models and modelling in chemical education. In I. J. Gilbert, O. d. Jong, R. Justi, J. v. Driel & D. Treagust (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 47-68). Dordrecht: Kluwer.
- Kunh, D. (1989). Children and Adults as Intuitive Scientists. *Psychological Review*, 96, 674-689.
- Kunh, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The Development of Cognitive Skills To Support Inquiry Learning. *Cognition and Instruction*, 18, 495-523.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present and Future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-880). New Jersey: Lawrence Erlbaum.

- Lopes, J. B. & Costa, N. (2007). The evaluation of modelling competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29, 811-851.
- Macedo, L. (2005). Competências e Habilidades: Elementos para uma reflexão pedagógica. In: J. S. Soares (Org.), *Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM): Fundamentação teórico-metodológica*. Brasília: INEP/MEC.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2008). Desenvolvimento de Habilidades no Ensino de Ciências e o Processo de Avaliação: Análise da Coerência. *Ciência & Educação*, 14, 433-452.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-Based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31, 603-630.
- Masui, C., & De Corte, E. (1999). Enhancing learning and problem solving skills orienting and self-judging, two powerful and trainable learning tools. *Learning and Instruction*, 9, 517-542.
- McComas, W. F., Almazroa H. & Clough, M. P. (1998). The Nature of Science in Science Education: An Introduction. *Science & Education*, 7, 511-532.
- McGregor, D. (2007). *Developing Thinking Developing Learning*. London: Open University Press.
- Mendonça, P. C. C. (2008). 'Ligando' as idéias dos alunos à ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem. Dissertação de Mestrado, 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.
- Millar, R. (1989). What is the scientific method and can it be taught? In J. J. Wellington (Ed.), *Skills and Process in Science Education: A critical Analysis*. New York: Routledge.
- Millar, R., Driver, R. (1987). Beyond Processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College London.
- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. Morrison & M. S. Morgan (Eds.), *Models as Mediators* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- National Center for Education Statistics (1997). *The NAEP Guide: A Description of the Content and Methods of the 1997 and 1998 Assessments*. Washington: U.S. Government Printing Office.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In L., Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 5-22). New York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Organization for Economic Co-operation and development (OECD) (2004). *Problem Solving for Tomorrow's World First Measures of Cross-Curricular Competencies from PISA 2003*. France: OECD Publications.
- Organization for Economic Co-operation and development (OECD) (2006). *Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy A Framework for PISA 2006*. France: OECD Publications.

- Pennington, N., Nicolich, R., & Rahm, J. (1995). Transfer of Training between Cognitive Subskills: Is Knowledge Use Specific? *Cognitive Psychology*, 28, 175-224.
- Perrenoud, P. (1999) *Construir as competências desde a escola*. Porto Alegre: Artmed.
- Queiroz, A. (2009). *Contribuições do Ensino de Ligação Iônica Baseado em Modelagem ao Desenvolvimento da Capacidade de Visualização*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Sandoval, W, A. (2005). Understanding Students' Practical Epistemologies and Their Influence on Learning Through Inquiry. *Science Education*, 89, 634-656.
- Schunn, C. D. & Anderson, J. R. (1999). The Generality/Specificity of Expertise in Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 23, 3, 337-370.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23, 165-205.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 6, 632-654.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., van Joolingen, W. R., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. (2009). The Relation between Students' Epistemological Understanding of Computer Models and their Cognitive Processing on a Modelling Task. *International Journal of Science Education*, 31, 9, 1205-1229.
- Smith, C., Snir, J., & Grosslight, L. (1992). Using conceptual models to facilitate conceptual change: The case of weight-density differentiation. *Cognition and Instruction*, 9, 221-283.
- Souza, V. C. A. (2007). *Os desafios da energia no contexto da termoquímica: modelando uma nova idéia para aquecer o ensino de Química*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais: Faculdade de Educação.
- Suart, R. C. (2008). *Habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em atividades experimentais investigativas*: Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Pablo.
- Toth, E. E., Suthers, D. D., & Lesgold, A. M. (2002). "Mapping to Know": The effects of Representational Guidance and Reflective Assessment on Scientific Inquiry. *Representational Guidance During Inquiry, Science Education*, 86, 264-286.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 357-368.
- Veenman, M. V. J., Elshoutt, J. J., & Meijer, J. (1997). The Generality Vs Domain-Specificity Of Metacognitive Skills In Novice Learning Across Domains. *Learning and Instruction*, 7, 187-209.
- Veenman, M. V. J., Wilhelm, P., & Beishuizen, J. J. (2004). The relation between intellectual and metacognitive skills from a developmental perspective. *Learning and Instruction*, 14, 89-109.
- Veenman, M. V. J., & Beishuizen, J. J.(2004). Intellectual and metacognitive skills of novices while studying texts under conditions of text difficulty and time constraint. *Learning and Instruction*, 14, 621-640.
- Vollmeyer, R; Burns, B. D., & Holyoak, K. J. (1996). The Impact of Goal Specificity on Strategy Use and the Acquisition of Problem Structure. *Cognitive Science*, 20, 75-100.

- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 353-368). New York: Kluwer.
- Wellington, J. (1989). Introduction: the book and its contents. I. In J. Wellington. (Ed), *Skills and Processes in Science Education a Critical Analysis*. (pp. 5-20). London & New York: Routledge.
- Wellington, J. (2001). What is Science Education for? *Canadian Journal Science, Mathematics & Technology Education, 1*, 1-19.
- White, B., & Frederiksen, J. (2000). Metacognitive facilitation: An approach to making scientific inquiry accessible to all. In J Minstrell and E. van Zee (Eds.), *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science*. (pp. 331-370). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Wu, H.-K., & Hsieh, C. E. (2006). Developing Sixth Graders' Inquiry Skills to Construct Explanations in Inquiry-based Learning Environments. *International Journal of Science Education, 28*, 1289-1313.
- Zohar, A. (2004). Higher Order Thinking in Science Classrooms: Students' Learning and Teachers' Professional Development. Dordrecht: Kluwer.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering Students' Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics. *Journal of Research in Science Teaching, 39*, 35-62.

## ANEXOS

### **Anexo 1: Competências apresentadas pela matriz do ENEM 2009 para a área de Ciências Naturais (Brasil, 2009, p. 08)**

*Competência de área 1* – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

H1 – Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

H2 – Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.

H3 – Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

H4 – Avaliar propostas de intervenção no ambiente, considerando a qualidade da vida humana ou medidas de conservação, recuperação ou utilização sustentável da biodiversidade.

*Competência de área 2* – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

H5 – Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

H6 – Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

H7 – Selecionar testes de controle, parâmetros ou critérios para a comparação de materiais e produtos, tendo em vista a defesa do consumidor, a saúde do trabalhador ou a qualidade de vida.

*Competência de área 3* – Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

H8 – Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

H9 – Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

H10 – Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.

H11 – Reconhecer benefícios, limitações e aspectos éticos da biotecnologia, considerando estruturas e processos biológicos envolvidos em produtos biotecnológicos.

H12 – Avaliar impactos em ambientes naturais decorrentes de atividades sociais ou econômicas, considerando interesses contraditórios.

*Competência de área 4* – Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

H13 – Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

H14 – Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

H16 – Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

*Competência de área 5* – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

H18 – Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

H19 – Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.

*Competência de área 6* – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H20 – Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

H21 – Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

H22 – Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

H23 – Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

*Competência de área 7* – Apropriar-se de conhecimentos da química para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H24 – Utilizar códigos e nomenclatura da química para caracterizar materiais, substâncias ou transformações químicas.

H25 – Caracterizar materiais ou substâncias, identificando etapas, rendimentos ou implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais de sua obtenção ou produção.

H26 – Avaliar implicações sociais, ambientais e/ou econômicas na produção ou no consumo de recursos energéticos ou minerais, identificando transformações químicas ou de energia envolvidas nesses processos.

H27 – Avaliar propostas de intervenção no meio ambiente aplicando conhecimentos químicos, observando riscos ou benefícios.

*Competência de área 8* – Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H28 – Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

H29 – Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias primas ou produtos industriais.

H30 – Avaliar propostas de alcance individual ou coletivo, identificando aquelas que visam à preservação e a implementação da saúde individual, coletiva ou do ambiente.

## **Anexo 2: Termo de consentimento livre e esclarecido direcionado à direção da escola**

Ilmo Sr.,  
Prof. Adilson Assis de Moreira.  
D.D. Diretor do Colégio Técnico da UFMG

Prezado professor,

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que investiguem potenciais inovações no ensino. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado algumas pesquisas na área de ensino de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores do ensino médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore. Muitas dessas pesquisas, como é de seu conhecimento, têm sido realizadas a partir de atividades desenvolvidas em aulas de diversas disciplinas ministradas por professores do Colégio Técnico.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de doutorado Poliana Flávia Maia a partir das aulas de Química ministradas pela profa. Paula Cristina Cardoso Mendonça, na turma M23, durante o ano letivo de 2007. Esta pesquisa tem o título de "*Avaliação de conhecimento sobre modelagem*" e terá como objetivo estudar como ocorre a aprendizagem dos alunos em relação a modelos e ao processo de modelagem quando eles participam de atividades dessa natureza. Essas atividades serão parte das atividades regulares desenvolvidas pela professora Paula em suas aulas de Química para alunos da turma M23 do 2º ano do ensino médio. Nelas os alunos serão solicitados a elaborar e modificar modelos sobre o tema químico em estudo. Tais modelos deverão ser registrados em papel e, quando for relevante, também utilizando bolinhas de isopor e/ou massinhas de modelar. Os alunos deverão também apresentar seus modelos para a turma e participar das discussões conduzidas pela professora. Essa estratégia de ensino tem sido utilizada pela professora Paula e por outros professores há mais de dois anos e seus resultados, em termos de aprendizagem dos alunos, têm sido excelentes (conforme evidenciado por pesquisas anteriores realizadas nesta e em outras escolas). Nesse sentido, não há nenhum risco para os alunos decorrente da participação nesta pesquisa.

Para a realização da pesquisa, as aulas nas quais a estratégia de ensino for desenvolvida serão filmadas (a fim de registrar as discussões entre os alunos e deles com a professora) e o material escrito produzido pelos alunos será copiado (a fim de registrar as idéias dos alunos em determinados momentos do processo). Além disso, uma amostra de alunos será entrevistada a fim de aprofundar a discussão de suas idéias. Essas entrevistas acontecerão sempre nas dependências do Colégio Técnico, no horário do almoço, em datas a serem combinadas entre os alunos e a pesquisadora co-responsável, de forma a não prejudicar outras atividades acadêmicas dos alunos. Tais entrevistas também serão filmadas. Todo este material será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade da escola, da professora e dos alunos revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados.

Caso seja concedida a autorização para a realização da pesquisa, a professora, os alunos e seus responsáveis receberão o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”. Nesses documentos, eles serão explicados sobre os objetivos da pesquisa e sobre seus aspectos metodológicos e serão solicitados a assinar uma autorização para a utilização dos dados.

Como enfatizado anteriormente, a pesquisa será realizada a partir de atividades regulares desenvolvidas pela professora. Portanto, todos os alunos participarão das atividades. Entretanto, aqueles que, por algum motivo, não quiserem participar da pesquisa, não terão seus dados analisados.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que uma das cópias da autorização em anexo seja preenchida e devolvida assinada.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato conosco pelo telefone 3409.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informamos que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3409.4592.

Desde já, agradecemos sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

---

Prof. Dr. Rosária S. Justi

Pesquisadora responsável

---

Prof. Poliana F. Maia

Pesquisadora co-responsável

## A U T O R I Z A Ç Ã O

Após ter sido esclarecido sobre os propósitos e condições de realização da pesquisa “*Avaliação de conhecimento sobre modelagem*”, autorizo o desenvolvimento da mesma em uma das turmas de segundo ano deste estabelecimento de ensino.

---

*Adilson Assis de Moreira*

Diretor do Colégio Técnico da UFMG

### Anexo 3: Termo de consentimento livre direcionado à professora

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezada professora Paula Cristina Cardoso Mendonça,

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que investiguem potenciais inovações no ensino. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado, com sua participação, algumas pesquisas na área de ensino de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores do ensino médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de doutorado Poliana Flávia Maia. Esta pesquisa tem o título de “*Avaliação de conhecimento sobre modelagem*” e terá como objetivo estudar como ocorre a aprendizagem dos alunos em relação a modelos e ao processo de modelagem quando eles participam de atividades dessa natureza.

Essas atividades serão parte das atividades regulares desenvolvidas por você em suas aulas de Química para alunos da turma M23 do 2º ano do ensino médio e deverão ser conduzidas de maneira similar a outras já conduzidas por você.

Como em situações anteriores, para a realização da pesquisa, as aulas nas quais a estratégia de ensino for desenvolvida serão filmadas (a fim de registrar as discussões entre os alunos e deles com você) e o material escrito produzido pelos alunos será copiado antes que você o devolva a eles (a fim de registrar as idéias dos alunos em determinados momentos do processo). Todo este material será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade da escola, sua e dos alunos revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados. As imagens não serão exibidas em público assegurando, assim, a privacidade e o sigilo da identidade sua e de seus alunos.

Para que a pesquisa possa ser realizada, solicito que você preencha e devolva uma das cópias deste termo de consentimento assinada.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato conosco pelo telefone 3409.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, ao qual você poderá recorrer livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG ou pelo telefone 3409.4592.

Desde já, agradecemos sua valiosa colaboração para a realização de mais esta pesquisa.

Atenciosamente,

---

Prof. Dr. Rosária S. Justi  
Pesquisadora responsável

---

Prof. Poliana F. Maia  
Pesquisadora co-responsável

Declaro que estou suficientemente esclarecida sobre a pesquisa “*Avaliação de conhecimento sobre modelagem*”, seus objetivos e metodologia e que concordo com o desenvolvimento da mesma em uma de minhas turmas.

Assinatura: \_\_\_\_\_

CI: \_\_\_\_\_

#### **Anexo 4: Termo de consentimento livre direcionado aos alunos**

##### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Prezado(a) aluno(a) da turma M23,

Como é de seu conhecimento, o Colégio Técnico da UFMG é uma escola experimental, onde são realizadas várias atividades em conjunto com os cursos de formação de professores (Licenciaturas) e com o curso de Pós-graduação em Educação. A integração do Colégio Técnico com o curso de Pós-graduação em Educação visa a realização de pesquisas que contribuam para melhorar o ensino e a aprendizagem das diversas disciplinas.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de doutorado Poliana Flávia Maia a partir das aulas de Química ministradas pela profa. Paula Cristina Cardoso Mendonça, na turma M23, durante o ano letivo de 2007. Esta pesquisa tem o título de *“Avaliação de conhecimento sobre modelagem”* e terá como objetivo estudar como ocorre a aprendizagem dos alunos em relação a modelos e ao processo de modelagem quando eles participam de atividades dessa natureza. Essas atividades serão parte das atividades regulares desenvolvidas pela professora Paula em suas aulas de Química para alunos da turma M23 do 2º ano do ensino médio. Essa estratégia de ensino tem sido utilizada pela professora Paula e por outros professores há mais de dois anos e seus resultados, em termos de aprendizagem dos alunos, têm sido excelentes (conforme evidenciado por pesquisas anteriores realizadas nesta e em outras escolas). Nesse sentido, não há nenhum risco para você, como aluno, decorrente da participação nesta pesquisa.

Para a realização da pesquisa, as aulas nas quais a estratégia de ensino for desenvolvida serão filmadas (a fim de registrar suas discussões com seus colegas e com a professora) e o material escrito produzido pelos alunos será copiado (a fim de registrar suas idéias em determinados momentos do processo). Além disso, uma amostra de alunos será escolhida aleatoriamente para participar de entrevistas (a fim de esclarecer algumas de suas idéias). Todo este material será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade da escola, da professora e dos alunos revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados.

Como enfatizado anteriormente, a pesquisa será realizada a partir de atividades regulares desenvolvidas pela professora. Portanto, todos os alunos participarão das atividades. Entretanto, caso você, por algum motivo, não queira participar da pesquisa, seus dados não serão analisados.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que você preencha e devolva uma das cópias deste termo de consentimento assinada. Informo, também, que você poderá retirar este consentimento a qualquer momento e que não terá nenhum prejuízo por isso.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato conosco pelo telefone 3409.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informamos que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer

eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3409.4592.

Desde já, agradecemos sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

---

Profa. Dr. Rosária S. Justi  
Pesquisadora responsável

---

Prof. Poliana F. Maia  
Pesquisadora co-responsável

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa "*Avaliação de conhecimento sobre modelagem*", seus objetivos e metodologia e que concordo com a utilização das imagens filmadas nas aulas de Química e do material escrito por mim produzido nessas aulas para os fins da pesquisa.

Caso seja selecionado(a) para participar das entrevistas, concordo que elas sejam realizadas nas dependências do Colégio Técnico, no intervalo do almoço, em datas a serem combinadas entre mim e a pesquisadora co-responsável. Neste caso, concordo também com a utilização das filmagens dessas entrevistas para os fins da pesquisa.

Nome do(a) aluno(a): \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

C.I.: \_\_\_\_\_

## **Anexo 5: Termo de consentimento livre direcionado aos responsáveis pelos alunos**

### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Prezados pais ou responsáveis pelos alunos da turma M23,

Como é de seu conhecimento, o Colégio Técnico da UFMG é uma escola experimental, onde são realizadas várias atividades em conjunto com os cursos de formação de professores (Licenciaturas) e com o curso de Pós-graduação em Educação. A integração do Colégio Técnico com o curso de Pós-graduação em Educação visa a realização de pesquisas que contribuam para melhorar o ensino e a aprendizagem das diversas disciplinas.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de doutorado Poliana Flávia Maia a partir das aulas de Química ministradas pela profa. Paula Cristina Cardoso Mendonça, na turma M23, durante o ano letivo de 2007. Esta pesquisa tem o título de “*Avaliação de conhecimento sobre modelagem*” e terá como objetivo estudar como ocorre a aprendizagem dos alunos em relação a modelos e ao processo de modelagem quando eles participam de atividades dessa natureza. Essas atividades serão parte das atividades regulares desenvolvidas pela professora Paula em suas aulas de Química para alunos da turma M23 do 2º ano do ensino médio. Essa estratégia de ensino tem sido utilizada pela professora Paula e por outros professores há mais de dois anos e seus resultados, em termos de aprendizagem dos alunos, têm sido excelentes (conforme evidenciado por pesquisas anteriores realizadas nesta e em outras escolas). Nesse sentido, não há nenhum risco para os alunos, decorrente da participação nesta pesquisa.

Para a realização da pesquisa, as aulas nas quais a estratégia de ensino for desenvolvida serão filmadas (a fim de registrar suas discussões dos alunos com seus colegas e com a professora) e o material escrito produzido pelos alunos será copiado (a fim de registrar suas idéias em determinados momentos do processo). Além disso, uma amostra de alunos será escolhida aleatoriamente para participar de entrevistas (a fim de esclarecer algumas de suas idéias). Todo este material será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade da escola, da professora e dos alunos revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que você preencha e devolva uma das cópias deste termo de consentimento assinada. Informo, também, que você poderá retirar este consentimento a qualquer momento e que o(a) aluno(a) abaixo identificado(a) não terá nenhum prejuízo por isso.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato conosco pelo telefone 3409.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informamos que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3409.4592.

Desde já, agradecemos sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

\_\_\_\_\_  
Profa. Dr. Rosária S. Justi  
Pesquisadora responsável

\_\_\_\_\_  
Profa. Poliana F. Maia  
Pesquisadora co-responsável

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa “*Avaliação de conhecimento sobre modelagem*”, seus objetivos e metodologia e que concordo com a utilização das imagens filmadas nas aulas de Química e do material escrito produzido nessas aulas pelo(a) aluno(a) abaixo identificado(a) para os fins da pesquisa.

Caso esse(a) aluno(a) seja selecionado(a) para participar das entrevistas, concordo que elas sejam realizadas nas dependências do Colégio Técnico, no intervalo do almoço, em datas a serem combinadas entre o(a) aluno(a) e a pesquisadora co-responsável. Neste caso, concordo também com a utilização das filmagens dessas entrevistas para os fins da pesquisa.

Nome do(a) aluno(a): \_\_\_\_\_

Nome do(a) responsável: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

C.I.: \_\_\_\_\_

## Anexo 6: Atividades da estratégia de ensino “Por que a cola cola?”

### 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*?

## Atividade 2

Considere a seguinte situação:

Foi desenvolvida uma nova cola para papel e madeira, mais poderosa do 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 a 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 formação é muito mais importante e/ou rico do que o resultado final. Por isso, independente de qual foi o 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 e primeira coluna, indicando a ordem em que agiria. Coloque quantas etapas quiser. Se necessário acrescente linhas ao quadro.

<b>Ordem</b>	<b>Etapas</b>	<b>Justificativas</b>

## Anexo 7: Atividades da estratégia de ensino “Modelo para a ligação iônica”

### Atividade 1

- ★ 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 clips, 1 pinça de madeira, fita de magnésio.
- ☆ Procedimento:
  - Prenda um pedaço de fita de magnésio no clips.
  - Prenda o clips na pinça de madeira na região oposta à que se encontra o magnésio.
  - Acenda a vela e leve este sistema à chama.
  - Quando ocorrer alguma modificação no sistema retire-o da chama.
  - Anote suas observações na Tabela 1.
  - O sólido branco presente agora no clips é o óxido de magnésio. Coloque o sistema na chama por mais um minuto e observe o que acontece com esta substância.
  - Anote suas observações na Tabela 1.

Quadro 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.
- ★ Pensamos, agora, em outros elementos.

### Questões:

- 6) Em que forma (mistura, substância simples, substância composta) são encontrados na natureza:
- a) o ouro.
  - b) o ferro.
- 7) 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 no quadro 2.
  3. Deixe a “garrafa” em repouso e observe o que acontece. Anote suas observações na Tabela 2.

Quadro 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?

## Atividade 2

- ★ A substância cloreto de sódio, o sal de cozinha, que utilizamos diariamente, é constituído por átomos de sódio (Na) e cloro (Cl). A questão que buscaremos explicar é como o cloreto de sódio é formado a partir desses átomos. Para isso, nessa atividade, vocês trabalharão na construção de um modelo para explicar a formação de íons.
- ⇒ Como vimos no primeiro semestre, energia de ionização (E.I.) é a energia necessária para retirar os elétrons de um átomo. Como mais de um elétron pode ser removido de um mesmo átomo tem-se a primeira, segunda, terceira, etc energia de ionização conforme o elétron removido seja o mais externo, o segundo mais externo e assim por diante, respectivamente. Quando esses elétrons são retirados o átomo deixa de ser neutro e a espécie resultante é um íon.
- ⇒ Na tabela a seguir são fornecidos os valores para a 1ª energia de ionização dos 20 primeiros elementos químicos da tabela periódica.

Tabela 1. Energia de ionização dos 20 primeiros elementos da tabela periódica.

<i>Número atômico (Z)</i>	<i>Símbolo do elemento</i>	<i>1ª energia de ionização (eV)</i>	<i>Número atômico (Z)</i>	<i>Símbolo do elemento</i>	<i>1ª energia de ionização (eV)</i>
1	H	13,6	11	Na	5,1
2	He	24,5	12	Mg	7,6
3	Li	5,4	13	Al	6,0
4	Be	9,3	14	Si	8,1
5	B	8,3	15	P	10,5
6	C	11,3	16	S	10,4
7	N	14,5	17	Cl	13,0
8	O	13,6	18	Ar	15,8
9	F	17,4	19	K	4,4
10	Ne	21,6	20	Ca	6,1

- 1) Analisando os valores na tabela e lembrando que um íon é uma espécie carregada positiva ou negativamente, proponha um modelo que explique como cada um desses tipos de íons é formado.
- 2)
  - 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 Cl<sub>2</sub>(g)? Por quê?
  - b) Qual o valor energético envolvido na formação de um mol desse íon?

### Atividade 3

- ★ 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  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . 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.
    - c) Justifique a escolha do material utilizado (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).
    - d) 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?

#### Atividade 4

- ★ 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 ( $TF = 808^{\circ}C$ ). 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

### Atividade 5

- ★ 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  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , este aspecto pode ser comprovado através de dados empíricos. O processo de formação de partículas de cloreto de sódio a partir de um íon  $\text{Na}^+$  e um íon  $\text{Cl}^-$  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, obtem-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  $\text{Na}^+$  e um íon  $\text{Cl}^-$ .
- 1) Com base nessas informações, proponha um modelo que explique a atração entre os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  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 4) ou é um novo modelo diferente do anterior? Justifique a opção do grupo.

**Atividade 6**

- 1) Na Atividade 4, tínhamos um problema para ser explicado – a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio ( $TF = 808^{\circ}C$ ). O modelo que tínhamos até o momento não explicava satisfatoriamente bem esse fato, por isso ele foi reformulado.
  - a) O modelo que você construiu na Atividade 5 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.

**\*Atividade 7**

- 1) Você gostou de aprender sobre ligações iônicas a partir da construção e reformulação de modelos? Por quê?
- 2) O que você achou mais difícil nesse processo? Por quê?
- 3) Na primeira aula de Química, você realizou uma atividade sobre “por que a cola cola?”. Nas aulas seguintes, você participou de um processo de elaboração de modelos para ligação iônica. Releia o que você escreveu na Atividade 2 sobre como elaboraria um modelo para resolver o problema da cola e compare com o processo que você viveu.
  - a) Existe alguma etapa que você descreveu na Atividade 2 e não realizou nessas últimas aulas? Qual (quais)?
  - b) Por que você acha que essa(s) etapa(s) não foi(foram) realizada(s)?
  - c) Nessas últimas aulas, você realizou algum procedimento que não havia descrito na Atividade 2? Qual (quais)?
- 4) Como você compara o processo vivido aqui na sala de aula com o processo de construção de modelos pelos cientistas? O que é diferente? O que é semelhante? Por quê?

## Anexo 8: Atividades da estratégia de ensino “Modelo para interações intermoleculares”

### Atividade 1: Aquecendo iodo e grafite

- ★ Para a realização desta atividade, seu grupo receberá amostras de iodo ( $I_2$ ) e grafite ( $C_{(graf)}$ ). Vocês deverão aquecer as duas substâncias. Porém, **antes** de realizar esse procedimento, façam uma previsão do que deve acontecer com cada uma delas, anotando-as no quadro a seguir:

Substância	Previsões	
	Durante o aquecimento	Após o aquecimento
Iodo		
Grafite		

- ★ Coloque cada uma das amostras dentro de um tubo de ensaio. Aqueça cada uma delas por 3 minutos, anotando suas observações no quadro a seguir:

Substância	Observações		
	Antes do aquecimento	Durante o aquecimento	Após o aquecimento
Iodo			
Grafite			

#### Questões:

- 1) Como você explica as observações feitas?
- 2) Existiram divergências entre suas previsões iniciais e as observações feitas? Responda sim ou não.
- 3) Em caso de resposta afirmativa no item 2, por que você acha que tais divergências ocorreram?
- 4) Qual é o papel do calor nesse aquecimento?
- 5) Por que as duas transformações foram diferentes?

### Atividade 2: Elaborando modelos para o aquecimento do iodo e do grafite

- ★ Seu grupo receberá diversos tipos de materiais como: bolinhas de isopor, palitos de dente, massinha, cola, papel, tesoura, lápis de cor, caixinhas de acetato, etc.
- 1) Pensando nos átomos constituintes das duas substâncias (iodo e grafite), elaborem modelos que expliquem o que aconteceu com cada um dos sistemas **antes, durante e após** o aquecimento. Utilizem o material disponível para construir seus modelos.
  - 2) Faça desenhos que representem, da forma mais completa, os modelos que vocês construíram.
  - 3) Você consegue explicar, através dos modelos que seu grupo elaborou, o que aconteceu com o grafite e o iodo **antes, durante e após** o aquecimento? **Justifique.**

### Atividade 3: Observando a reação do iodo com o amido

- ★ Nesta atividade você observará uma reação química que serve como teste para detectar a presença de amido em alimentos. Trata-se da reação entre o iodo e o amido, a qual é evidenciada pelo aparecimento da cor azul.
  
- ★ Seu grupo receberá amostras de pão, batata e amido de milho, além de um frasco contendo tintura de iodo (solução).
  - 1) Adicione uma gota dessa solução de iodo em cada uma dessas amostras. Explique os resultados observados.
  
- ★ Seu grupo receberá um tubo de ensaio contendo iodo sólido, e uma amostra de amido de milho. Receberá também um cotonete. Umedeça o cotonete em água e passe-o sobre o amido de milho, de forma que um pouco deste fique grudado na ponta do cotonete.
  - 1) **Antes** que você realize o teste, responda:  
Se o iodo, após o aquecimento, estiver de acordo com o modelo proposto pelo seu grupo, o que podemos esperar de sua reação com amido? Justifique.
  
  - 2) Agora aqueça a amostra de iodo, deixando a ponta do cotonete na boca do tubo de ensaio. Faça isto até que o iodo sublime.  
Anote suas observações.

#### Questões:

- 1) As observações feitas através do teste realizado estão de acordo com o que seu grupo previu?
  
- 2) Seu modelo é capaz de explicar essas observações? **Porquê?**

**Atividade 4: Aquecendo o açúcar**

★ Na atividade anterior, concluímos que a substância iodo é formada por moléculas de fórmula  $I_2$ . O açúcar, cuja fórmula é  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , também é formado por moléculas. Entretanto, ao ser aquecido, o açúcar funde-se, mas rapidamente carameliza-se.

- 1) Seu grupo receberá uma amostra de açúcar. Aqueça-a e anote suas observações no quadro abaixo.

Antes do aquecimento	Durante o aquecimento	Após o aquecimento

- 2) Baseando-se no que foi discutido, elabore um modelo para a substância açúcar que explique (considerando as ligações rompidas e o gasto de energia envolvido) por que os dois processos ocorrem.

**Atividade 5: Comparando substâncias moleculares**

- ★ Substâncias como o iodo e o açúcar são chamadas **substâncias moleculares**. Na tabela a seguir, você observa dados sobre as temperaturas de fusão e ebulição de diversas outras substâncias moleculares conhecidas.

Substância	Fórmula	Temperatura de fusão (°C)	Temperatura de ebulição (°C)
Oxigênio	O <sub>2</sub>	- 218	- 183
Cloro	Cl <sub>2</sub>	-102	-34
Flúor	F <sub>2</sub>	- 223	- 187
Metano	CH <sub>4</sub>	-182	-162
Amônia	NH <sub>3</sub>	-78	-33
Álcool comum	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	- 117	78,3
Acetona	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	- 95	56,1
Bromo	Br <sub>2</sub>	- 7,3	58,8
Água	H <sub>2</sub> O	0	100
Naftaleno	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	80	218
Iodo	I <sub>2</sub>	114	183
Açúcar	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	185/186	–

Fontes: *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 1973.

SOLOMONS, G. e FRYHLE, C.O. *Química orgânica*. v. 1 e 2. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

OHLWEILER, O. A. *Química inorgânica*. Brasília: Edgard Blücher, 1973.

**Questão:**

Sabendo que todas as substâncias do quadro são moleculares, como você explica o fato de algumas terem temperaturas de fusão e ebulição baixas e outras altas?

**Anexo 9: Questão 5 da 1ª Avaliação Parcial****\*QUESTÃO 05**

Você até o momento estudou a formação das ligações e, durante este estudo, você construiu diversos modelos. Suponha que você é novamente solicitado a construir um modelo. Este modelo deve explicar o PORQUÊ que uma reação química ocorre (o que ocorre entre as substâncias e, conseqüentemente, entre seus átomos, durante este processo). Explícite abaixo os passos que você seguiria para elaborar este modelo e, em seguida, numere-os de acordo com a ordem de suas ações. ATENÇÃO, você não precisa propor o modelo, apenas descreva como você fará para elaborá-lo.

Ordem	Passo

**Anexo 10: Questão 7 da Avaliação Final****\*QUESTÃO 07**

Abaixo são apresentados alguns sistemas presentes no seu cotidiano.

- I. forno de microondas;
  - II. aparelho não digital de medir pressão arterial;
  - III. spray;
  - IV. cartão de telefone de orelhão;
  - V. chocolate aerado (Suflair, por exemplo).
- 
- a. Escolha um destes sistemas e proponha um modelo que explique seu funcionamento. Se sua escolha for o sistema V, proponha um modelo para o processo de fabricação do chocolate aerado.
  
  - b. Como você faria para convencer outra pessoa de que seu modelo é bom?

## **Anexo 11: Questões que estruturaram as entrevistas**

### Entrevista I

1. Você havia participado, anteriormente, de atividades com modelos? Como eram essas atividades?
2. As aulas sobre modelos alteraram sua visão sobre os mesmos? Como?
3. Quais as dificuldades encontradas na elaboração do modelo para a cola?
4. Como ocorreu o processo de construção dos modelos, para a cola e para a ligação iônica, no seu grupo?
5. Que ordem, em termos de etapas, seu grupo empregou na elaboração do modelo para a cola?
6. Você pensou nessa ordem na hora de elaborar o modelo para a ligação iônica?
7. Existiram diferenças entre as etapas empregadas para construir o modelo da cola e aquelas empregadas para construir o modelo da ligação iônica? Quais?

### Entrevista II

1. Qual modelo você achou mais difícil de construir: da cola ou da ligação iônica? Por quê?
2. No geral (considerando a construção de modelos para a cola, ligação iônica e interações intermoleculares), quais as principais dificuldades que você encontrou?
3. À medida que você foi construindo os modelos em cada atividade, você achou que foi ficando mais fácil, mais difícil ou não teve diferença de um para o outro? Por quê?
4. O que você vê de diferente ou de semelhante entre a construção de modelos de que você participou em sala de aula e a construção de modelos pelos cientistas?
5. Explique o que você pensou em fazer para elaborar um modelo para reação química.

### Entrevista III

1. Qual o sistema que você selecionou elaborar o modelo? Por que você escolheu este sistema?
2. Como foi o processo de elaboração do seu modelo?
3. O que você faria de diferente na hora de construir este modelo se você estivesse em outro contexto, com a disponibilidade dos recursos que você desejasse?
4. O que você julga necessário para se construir um modelo?