

Paula Cristina Cardoso Mendonça

**INFLUÊNCIA DE ATIVIDADES DE
MODELAGEM NA QUALIDADE DOS
ARGUMENTOS DE ESTUDANTES DE
QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO**

Belo Horizonte

2011

Paula Cristina Cardoso Mendonça

**INFLUÊNCIA DE ATIVIDADES DE
MODELAGEM NA QUALIDADE DOS
ARGUMENTOS DE ESTUDANTES DE
QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO**

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

2011

*Àquela que me despertou o interesse para a pesquisa em Ensino de Ciências, que muito
contribuiu para minha formação e por quem tenho imensa gratidão:*

Rosária Justi.

*Àquele que me deu suporte em todos os momentos da minha carreira e por quem tenho
imenso carinho, meu querido esposo:*

Eduardo Luz.

AGRADECIMENTOS

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

A Rosária Justi, por todas as oportunidades de orientação que favoreceram muito a minha formação como professora da Licenciatura em Química e pesquisadora da área de Ensino de Ciências e por ter constituído um modelo de orientação, que pretendo utilizar em minha vida com meus atuais e futuros orientandos. Agradeço os bons conselhos que me foram dados durante vários momentos da minha carreira profissional, como também os bons momentos de descontração vivenciados ao longo desses anos.

Ao Eduardo, pelas palavras de apoio e incentivo em vários momentos decorridos durante a realização do doutorado. Sou muito grata e feliz por todo carinho, dedicação e companheirismo.

A todos meus familiares, pela grande torcida em vários momentos da minha vida.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa “Reagir – Modelagem e Educação em Ciências”. Agradeço muito por toda colaboração nas discussões dos instrumentos de pesquisa e na análise dos dados, em especial, à Nilmara. As sugestões de vocês foram essenciais para a melhoria do meu trabalho. A Paula, Heberton, Kristianne e Daniela, agradeço por todo apoio na coleta e transcrição dos dados. Agradeço a vocês pelos bons momentos vivenciados durante nossas reuniões na UFMG, congressos e outros encontros.

À diretora da escola que concedeu autorização para a realização da pesquisa. Especialmente, agradeço à professora que aplicou as atividades de modelagem e que não poupou esforços para favorecer a coleta de dados desta pesquisa, e aos estudantes que participaram dela, com destaque para aqueles que se disponibilizaram a chegar mais cedo na escola para participar das entrevistas.

Por fim, agradeço aos professores, Maria Pilar Jiménez-Aleixandre, Salette Linhares Queiroz, Danusa Munford, Eduardo Fleury Mortimer, Marina de Lima Tavares e Anna Maria Pessoa de Carvalho que, gentilmente, aceitaram o convite de compor a banca de avaliação deste trabalho. Em especial, agradeço as professoras Anna Maria e Danusa, pelas boas contribuições no exame de qualificação.

RESUMO

A importância da argumentação para a educação científica e a relação da modelagem com a argumentação são aspectos destacados pela literatura. Ao atuar como professora de ensino médio, pude perceber que a modelagem favorecia a argumentação e como era influenciada por ela. Devido a esses aspectos, buscamos investigar, a partir de instrumentos específicos: (i) a qualidade dos argumentos de estudantes do ensino médio que participaram de atividades de ensino por modelagem fundamentado no diagrama Modelo de Modelagem de dois temas (ligações iônicas e interações intermoleculares); (ii) a relação de seus argumentos com as etapas do diagrama; e (iii) como a modelagem influenciou a argumentação dos estudantes. Foram coletados dados de uma turma de segundo ano do ensino médio de uma escola pública estadual. A professora já tinha experiências com atividades investigativas. Todas as atividades de modelagem foram discutidas previamente com ela. Os estudantes não tinham nenhuma experiência prévia com atividades investigativas. A coleta de dados ocorreu durante os meses de fevereiro a junho de 2009. Foram filmadas todas as aulas com o foco em três grupos, foram produzidas notas de campo e as atividades dos estudantes foram copiadas. Todos os vídeos das aulas foram transcritos e foram produzidos estudos de caso para cada um dos temas para dois dos grupos. Foi proposta a definição de argumento científico curricular. Essa definição e os argumentos de estudantes oriundos do estudo piloto fundamentaram a proposição de um instrumento para análise do nível de argumentos. Nos estudos de caso, a classificação dos níveis dos argumentos foi feita segundo a plausibilidade deles no contexto de produção. Neles, relatamos como os estudantes lidaram com dados que poderiam ser anômalos a seus modelos e como a professora conduziu as discussões. Investigamos se havia relação entre o uso de dados primários e secundários e o nível dos argumentos. Classificamos alguns atos dos estudantes em 'doing the lesson' ou 'doing school' e 'doing science' com o intuito de discutir a possível relação do nível dos argumentos com a postura dos grupos em sala de aula. A análise dos estudos de caso fundamentou a discussão das questões de pesquisa. A definição do argumento científico curricular e seu uso a partir do instrumento para análise dos níveis dos argumentos mostrou-se coerente porque possibilitou analisar os argumentos durante o processo de construção de modelos. Os dados evidenciam que as atividades de ensino são adequadas quanto aos objetivos de favorecer a construção de modelos mais próximos aos curriculares, a elaboração de argumentos e a expressão de argumentos de elevada qualidade, principalmente, aquelas relacionadas às etapas 3 (teste do modelo) e 4 (avaliação do modelo) do diagrama. Na estratégia de ensino de interações intermoleculares, houve produção de mais argumentos de maior qualidade do que na de ligações iônicas, o que pode ser influência da aplicação da primeira estratégia devido aos conhecimentos e habilidades de raciocínio desenvolvidos pelos alunos. O papel da professora na condução das atividades, principalmente nas refutações aos modelos incoerentes ao curricular, foi essencial para o favorecimento da argumentação. Percebemos que não foi apenas a natureza dos dados que favoreceu o uso dos mesmos nos argumentos, mas o contexto em que eles foram analisados e a complexidade dos mesmos. O uso de dados anômalos num contexto de ensino que envolvia colaboração na produção de conhecimentos e guiado pela professora foi importante para promoção da modificação central dos modelos. O posicionamento dos grupos, assim como o uso de gestos influenciou na argumentação. O conhecimento conceitual influenciou na melhoria da qualidade dos argumentos e vice-versa. Sugerimos o uso do diagrama Modelo de Modelagem para fundamentar estratégias de ensino que visem favorecer a argumentação em outros contextos e o uso do instrumento de análise de nível de argumentos científicos curriculares em pesquisas que investiguem tais argumentos em processos de construção de conhecimento.

ABSTRACT

The importance of argumentation for science education, and the relationships between modelling and argumentation are emphasised by the literature. When I was a teacher at the medium level, I could realise that modelling favoured argumentation and, at the same time, was influenced by it. As a consequence, in this research we aim at investigating, from specific instruments: (i) the quality of the arguments produced by medium level students when they participate into modelling activities based on the Model of Modelling diagram for the teaching of two chemical topics: ionic bonding, and intermolecular interactions; (ii) the relationships between their arguments and the steps of the modelling process; and (iii) how modelling influenced the students' argumentation. Data were collected in a second year medium level class from a public school. The teacher had already had some experiences in conducting investigative activities. All the modelling activities were discussed with her. The students had not previous experience with investigative activities. Data gathering occurred between February and June 2009. All the lessons were video-recorded with the focus in three students' groups, the researcher produced field notes, and the written activities produced by the students were photocopied. All the videos were transcribed, and by merging all data we produced case studies for each of the topics for two of the groups. The definition of scientific curricular argument was proposed. This definition and the students' arguments from a pilot study based the elaboration of an instrument for analysing the level of the arguments. In the case studies, the classification of the level of the arguments took into account their plausibility into the context in which they were produced. In the case studies, we describe how students dealt with anomalous data for their models, and how the teacher conducted the discussions. We probed whether there were relationships between the use of primary or secondary data and the level of the arguments. We also identified some students' attitudes as 'doing the lesson' or 'doing the school' and 'doing science' in order to discuss possible relationships between the level of the arguments and the students' attitudes during the lessons. The analysis of the case studies based the discussion of the research questions. The definition of scientific curricular argument as well as its use form the instrument for analysing the level of the arguments showed to be coherent because it made it possible to analyse the arguments during the modelling process. Our data show that the modelling-based teaching activities (mainly those related to steps 3 (test of the model) and 4 (evaluation of the model) of the diagram) are adequate to favour the production of students' models close to the curricular ones, the production of arguments, and the expression of high quality arguments. During the activities of the teaching of intermolecular interaction, students produced more high quality arguments than during the activities of the ionic bonding teaching. This may be a consequence of their participation into the initial activities, due to the knowledge and reasoning skills they developed in such a situation. The teacher's role in conducting the activities, mainly the refutation to the models that were incoherent to the curricular models, was essential in favouring the students' argumentation. We realised that it was not only the nature of data that favoured their use in the arguments, but also the context in which they were analysed and their complexity. The use of anomalous data in a teaching context that involved the collaboration in the construction of knowledge and that was guided by the teacher was important for supporting key changes into the students' models. The students' attitudes, as well as the use of concrete materials and gestures influenced the production of their arguments. The students' conceptual knowledge influenced the improving of the quality of their arguments, and vice-versa. We suggest the use of the Model of Modelling diagram to base the elaboration of teaching activities that aim at favouring the argumentation in other contexts, and the use of the instrument for the analysis of the level of the scientific curricular arguments in other research that investigate such arguments into knowledge construction processes.

SUMÁRIO

<u>CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA</u>	<u>1</u>
<u>CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA</u>	<u>14</u>
2.1. UMA VISÃO DE CIÊNCIA BASEADA EM MODELOS	14
2.2. UMA VISÃO DE ENSINO DE CIÊNCIAS BASEADA EM MODELAGEM	23
2.3. UMA VISÃO DE MODELOS NO ÂMBITO DA QUÍMICA	33
2.4. ARGUMENTAÇÃO: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	35
2.5. ARGUMENTAR PARA APRENDER E APRENDER A ARGUMENTAR: VISÕES DA PSICOLOGIA	42
2.6. ARGUMENTAÇÃO NA CIÊNCIA E NO ENSINO DE CIÊNCIAS	45
2.7. ARGUMENTAÇÃO: ASPECTOS METODOLÓGICOS	56
<u>CAPÍTULO 3: QUESTÕES DE PESQUISA</u>	<u>69</u>
<u>CAPÍTULO 4: ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA</u>	<u>73</u>
4.1. COLETA DE DADOS	73
4.2. PROPOSTA DE ANÁLISE DE DADOS: JUSTIFICATIVAS E INSTRUMENTOS	76
4.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA DE ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA	78
4.2.2. CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA DE ENSINO DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	83
4.2.3. CONSIDERAÇÕES DA LITERATURA E INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS	86
4.2.4. A ANÁLISE DE DADOS	99
<u>CAPÍTULO 5: ANÁLISE DE DADOS</u>	<u>103</u>
5.1. ESTUDO DE CASO PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS	103
5.2. ESTUDO DE CASO PARA O ENSINO DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	138
5.3. ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO	169
5.3.1. LIGAÇÕES IÔNICAS	169
5.3.2. INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	178
5.4. COMPARAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS	187
<u>CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES</u>	<u>195</u>
6.1. QUALIDADE DOS ARGUMENTOS NA MODELAGEM	195
6.2. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O INSTRUMENTO DE ANÁLISE DA QUALIDADE DOS ARGUMENTOS	205
6.3. RELAÇÃO DOS ARGUMENTOS COM O DIAGRAMA MODELO DE MODELAGEM	209
6.4. INFLUÊNCIAS DA MODELAGEM NA ARGUMENTAÇÃO	213
6.5. DIAGRAMA MODELO DE MODELAGEM E ARGUMENTAÇÃO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES DA LITERATURA	216
6.6. UMA REFLEXÃO SOBRE AS ATIVIDADES DE MODELAGEM	219
<u>CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	<u>223</u>
7.1. IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO	223
7.2. IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA	225
7.3. TRABALHOS FUTUROS	227
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>229</u>
<u>APÊNDICE 1: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO À DIREÇÃO</u>	<u>239</u>

<u>APÊNDICE 2: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DIRECIONADO À PROFESSORA</u>	<u>241</u>
<u>APÊNDICE 3: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DIRECIONADO AOS ALUNOS</u>	<u>243</u>
<u>APÊNDICE 4: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DIRECIONADO AOS RESPONSÁVEIS PELOS ALUNOS</u>	<u>245</u>
<u>APÊNDICE 5: ATIVIDADES DE MODELAGEM PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS</u>	<u>247</u>
<u>APÊNDICE 6: ATIVIDADES DE MODELAGEM PARA O ENSINO DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES</u>	<u>257</u>
<u>APÊNDICE 7: VERSÕES REFORMULADAS DAS ATIVIDADES DA ESTRATÉGIA DE ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS</u>	<u>262</u>
<u>APÊNDICE 8: VERSÕES REFORMULADAS DAS ATIVIDADES DA ESTRATÉGIA DE ENSINO DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES</u>	<u>270</u>

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1	UMA CLASSIFICAÇÃO DE VÁRIAS ESTRUTURAS FILOSÓFICAS A PARTIR DE DIFERENÇAS EM ALGUMAS AFIRMAÇÕES BÁSICAS	14
FIGURA 2.2	RELAÇÃO ENTRE MODELOS E O MUNDO	16
FIGURA 2.3	UMA VISÃO DE CIÊNCIA BASEADA EM MODELOS	20
FIGURA 2.4	ETAPAS POSSÍVEIS NA AVALIAÇÃO DE MODELOS A PARTIR DAS IDEIAS DE GIERE	21
FIGURA 2.5	CICLO GEM (GERAÇÃO, AVALIAÇÃO E MODIFICAÇÃO DE MODELOS)	25
FIGURA 2.6	O CAMINHO DE APRENDIZAGEM PROPOSTO POR CLEMENT	26
FIGURA 2.7	DIAGRAMA MODELO DE MODELAGEM ADAPTADO DE JUSTI E GILBERT	27
FIGURA 2.8	COMPONENTES DO ARGUMENTO E SUAS RELAÇÕES SEGUNDO TOULMIN	37
FIGURA 2.9	QUATRO POSSIBILIDADES DE SITUAÇÕES ARGUMENTATIVAS SEGUNDO BAKER	41
FIGURA 2.10	TRANSFORMAÇÕES DE DADOS E PONTOS DE TOMADA DE DECISÕES SEGUNDO DUSCHL E ELLENBOGEN	48
FIGURA 4.1	DISPOSIÇÃO DOS GRUPOS E POSIÇÃO DAS CÂMERAS DURANTE AS AULAS	75
FIGURA 5.1	MODELO 2D PARA O CLORETO DE SÓDIO DISSOLVIDO EM ÁGUA PROPOSTO POR G_2	113
FIGURA 5.2	$ML.I_1G_2$	114
FIGURA 5.3	MODELO PROPOSTO POR G_4 PARA A DISSOLUÇÃO DO SAL EM ÁGUA	117
FIGURA 5.4	$ML.I_1G_4$	117
FIGURA 5.5	PRIMEIRA IDEIA APRESENTADA POR G_2 PARA O TESTE DE $ML.I_1$ NA ATIVIDADE 6	122
FIGURA 5.6	$ML.I_2G_4$	124
FIGURA 5.7	REPRODUÇÃO DO DESENHO FEITO POR IGOR PARA EXPLICAR SUA IDEIA SOBRE A DISTÂNCIA ENTRE OS ÍONS.	125
FIGURA 5.8	MODELO 'NaCl MOLÉCULA' PROPOSTO PELA PESQUISADORA PARA DISCUTIR COM G_2	126
FIGURA 5.9	$ML.I_2'G_2$	132
FIGURA 5.10	$ML.I_1'G_4$	134
FIGURA 5.11	MODELOS CIENTÍFICOS PARA O NaCl.	136
FIGURA 5.12	$ML.I_1G_2$	144
FIGURA 5.13	$ML.I_3G_2$	149
FIGURA 5.14	$ML.I_3G_4$	155
FIGURA 5.15	$ML.I_4G_4$	158
FIGURA 5.16	$ML.I_4$: INTERPRETAÇÃO DO GRUPO 2 DO EXPERIMENTO DE AQUECIMENTO DO AÇÚCAR	165
FIGURA 5.17	$ML.I_5$: INTERPRETAÇÃO DO GRUPO 2 DO EXPERIMENTO DE AQUECIMENTO DO AÇÚCAR	166
GRÁFICO 6.1	QUALIDADE DOS ARGUMENTOS PRODUZIDOS PELOS GRUPOS 2 E 4 NAS ATIVIDADES DE MODELAGEM	195
GRÁFICO 6.2	NÍVEL DO ARGUMENTO PARA CADA UM DOS ARGUMENTOS PRODUZIDOS PELOS GRUPOS 2 E 4 NA ESTRATÉGIA DE LIGAÇÕES IÔNICAS	197
GRÁFICO 6.3	NÍVEL DO ARGUMENTO PARA CADA UM DOS ARGUMENTOS PRODUZIDOS NA ESTRATÉGIA DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	198
GRÁFICO 6.4	RELAÇÃO DO NÍVEL DOS ARGUMENTOS CIENTÍFICOS CURRICULARES COM CADA ETAPA DO DIAGRAMA MODELO DE MODELAGEM	210

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1	ESTRUTURA ANALÍTICA UTILIZADA POR OSBORNE ET AL.	60
QUADRO 2.2	ESQUEMA DE ARGUMENTO DE ANALOGIA	63
QUADRO 2.3	QUESTÕES CRÍTICAS RELATIVAS AO ARGUMENTO DE ANALOGIA	63
QUADRO 2.4	SÍNTESE ANALÍTICA PARA AVALIAR O DISCURSO ARGUMENTATIVO	65
QUADRO 2.5	REGRAS DA PRAGMA-DIALÉTICA PARA DISCUSSÃO CRÍTICA	66
QUADRO 4.1	CRITÉRIOS QUE FUNDAMENTAM O INSTRUMENTO UTILIZADO PARA ANALISAR O NÍVEL DO ARGUMENTO CIENTÍFICO CURRICULAR EM ATIVIDADES DE MODELAGEM	91
QUADRO 5.1	ARGUMENTOS EXPRESSOS POR G_2 NA ATIVIDADE 3 DE LIGAÇÕES IÔNICAS	169
QUADRO 5.2	ARGUMENTOS EXPRESSOS POR G_4 NA ATIVIDADE 3 DE LIGAÇÕES IÔNICAS	170
QUADRO 5.3	ARGUMENTOS E MODELO EXPRESSOS POR G_2 NA ATIVIDADE 5 DE LIGAÇÕES IÔNICAS	171
QUADRO 5.4	ARGUMENTO E MODELO EXPRESSOS POR G_4 NA ATIVIDADE 5 DE LIGAÇÕES IÔNICAS	171
QUADRO 5.5	ARGUMENTOS E MODELOS EXPRESSOS POR G_2 NA ATIVIDADE 6 DE LIGAÇÕES IÔNICAS	174
QUADRO 5.6	ARGUMENTOS E MODELOS EXPRESSOS POR G_4 NA ATIVIDADE 6 DE LIGAÇÕES IÔNICAS	174
QUADRO 5.7	ARGUMENTO E MODELO EXPRESSOS POR G_4 NA ATIVIDADE 7 DE LIGAÇÕES IÔNICAS	177
QUADRO 5.8	ARGUMENTOS EXPRESSOS POR G_2 NA ATIVIDADE 1 DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	178
QUADRO 5.9	ARGUMENTOS E MODELOS EXPRESSOS POR G_2 NA ATIVIDADE 2 DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	180
QUADRO 5.10	ARGUMENTOS E MODELOS EXPRESSOS POR G_4 NA ATIVIDADE 2 DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	181
QUADRO 5.11	ARGUMENTOS E MODELOS EXPRESSOS POR G_2 NA ATIVIDADE 3 DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES.	184
QUADRO 5.12	ARGUMENTOS E MODELOS EXPRESSOS POR G_2 NA ATIVIDADE 4 DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	186
QUADRO 5.13	ARGUMENTOS E MODELOS EXPRESSOS POR G_4 NA ATIVIDADE 4 DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES	186

CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

No final da década de 70 e durante os anos 80 do século passado, o Ensino de Ciências foi caracterizado, principalmente, pelo “movimento das concepções alternativas”. As pesquisas realizadas nesse período evidenciaram que (i) estudantes de várias partes do mundo tinham concepções alternativas¹ sobre vários temas científicos inseridos nos currículos de química, física e biologia mesmo após eles terem sido aprovados em seus cursos de ciências (Driver, 1989); (ii) as concepções dos estudantes eram resistentes a modificações por estarem firmemente arraigadas em suas estruturas cognitivas, o que interferia na aprendizagem subsequente na medida em que, ao aprender, os estudantes estabeleciam conexões entre novas informações e uma estrutura cognitiva que continha conhecimento discrepante do científico (Duit & Treagust, 2003) e (iii) em geral, professores de ciências não levavam em consideração as ideias prévias trazidas pelos estudantes (Mortimer, 1996).

A partir da constatação desses aspectos, foram propostas várias abordagens para lidar com as concepções alternativas dos aprendizes. A mais difundida delas ficou conhecida como “movimento de mudança conceitual”. Ela se fundamentava nos pressupostos da aprendizagem construtivista: as ideias prévias desempenham papel central na aprendizagem e a aprendizagem ocorre através do envolvimento ativo do aprendiz (para mais detalhes, ver Millar, 1989).

Posner, Strike, Hewson e Gertzog (1982) foram os primeiros a sistematizar a teoria de mudança conceitual² tomando por base aspectos de filosofia da ciência³. Segundo eles, se o aprendiz está insatisfeito com seu conceito prévio e um conceito que lhe é apresentado é inteligível (passível de ser compreendido pelo estudante), plausível (o estudante acredita no conceito) e frutífero (o estudante pode utilizá-lo na resolução de problemas), ocorre a *acomodação* do novo conceito. De acordo com essa visão, a resolução de uma competição

¹ Ideias que divergem das aceitas atualmente pela ciência (podendo, inclusive, incluir as ideias que cientistas do passado já expressaram) ou simplificações destas.

² Eles reconhecem que as ideias de Piaget tinham muitas similaridades com a teoria proposta por eles, mas no trabalho de Piaget o foco estava mais direcionado para as estruturas lógicas dos indivíduos do que o conteúdo das ideias.

³ Eles consideraram elementos comuns das visões de Thomas Kuhn sobre “ciência normal” e “revolução científica” e da visão de Imre Lakatos sobre “programas de pesquisa”, especialmente as ideias de que o conhecimento é construído pelo ser humano e de que ele não é passível de provas.

conceitual é explicada em termos de qual dos conceitos em questão é mais inteligível, plausível e frutífero.

Ainda segundo essa abordagem, concepções conflitantes não podem ser simultaneamente plausíveis para o aprendiz. A aceitação da nova concepção é impedida pelas concepções existentes, sendo que a partir da dissonância criada, por exemplo, pelo professor ou por materiais de ensino, a concepção antiga é abandonada e um novo conceito é adquirido. Essa seria uma visão radical de mudança conceitual, mas que não necessariamente ocorre de forma abrupta, como reconhecido pelos autores, ao afirmarem que supunham que o processo era gradual (Posner et al., 1982). Além disso, os autores reconheciam que nem sempre ocorria troca de um conceito por outro, isto é, indivíduos podiam conviver com parte de seus conceitos prévios – o que eles chamavam de mudança conceitual por *assimilação*. Nesse caso, a nova concepção poderia ser incorporada às concepções existentes se o aprendiz fosse capaz de achar que ela era inteligível (tinha significado para ele), plausível (poderia ser reconciliada sem contradições com as concepções existentes) e provavelmente útil (existia alguma razão para fazer os esforços envolvidos em sua aprendizagem). Deste modo, o status da nova concepção poderia ser ampliado.

No ensino, para propiciar a criação de conflito cognitivo e a consequente mudança de concepção, eram usuais os “experimentos cruciais” (Mortimer, 1996) – conceito originado de uma concepção epistemológica (empiricismo) que vai contra os pressupostos do construtivismo enquanto corrente filosófica⁴ (no qual a aprendizagem construtivista deveria se fundamentar).

Entretanto, mesmo com a criação de conflitos, as pesquisas evidenciaram que a modificação de ideias por parte dos alunos não era tão simples, pois eles apresentavam ideias inconsistentes de acordo com a visão científica mesmo após instrução visando mudança conceitual, demonstrando que não haviam realmente modificado suas ideias prévias (Duit & Treagust, 2003).

Há várias críticas à concepção de mudança conceitual como acomodação (por exemplo, por Vosniadou & Ioannides, 1998), na qual o aluno modifica sua ideia prévia em

⁴ Ver mais detalhes no capítulo 2.

prol de uma ideia científica. Segundo Mortimer, com essa concepção “poderíamos pensar que um cientista não usa as ideias do senso comum tendo-as abandonado em detrimento de ideias mais racionais?” (Mortimer, 1996, p. 28). Para Mortimer isso não ocorre, pois,

“...por exemplo, para lidar com estequiometria um químico não precisa de uma ideia quântica do átomo, apesar de já possuí-la. A utilização de um modelo do átomo daltoniano seria suficiente para esse caso” (Mortimer, 1996, p. 28).

Essa colocação reforça as ideias de que os conceitos não são necessariamente abandonados e de que a convivência entre diferentes conceitos é possível, isto é, eles podem ser usados de forma coerente em situações específicas. De acordo com o autor, isso se relaciona à tomada de consciência do perfil conceitual do sujeito (concepção desenvolvida por Mortimer a partir das ideias de perfil epistemológico de Bachelard), no sentido de ele ser consciente ao aplicar cada conceito em situações apropriadas.

Segundo Rea-Ramirez, Clement e Núñez-Oviedo (2008) há críticas de outra natureza aos modelos de mudança conceitual, que se relacionam ao fato de eles serem demasiadamente focados nos aspectos cognitivos e não considerarem devidamente os aspectos motivacionais, os papéis sociais e contextuais da aprendizagem.

Atualmente, as estratégias que visam promover aprendizagem significativa dos alunos têm o intuito de promover o enriquecimento científico dos mesmos, porém de forma menos radical do que a prevista no modelo de mudança conceitual por acomodação, isto é, aceitando que a reorganização das ideias ocorre de forma gradual e que diferentes tipos de conhecimentos podem coexistir, sendo utilizados apropriadamente em momentos necessários (M. A. Rea-Ramirez et al., 2008). Entretanto, deve ficar claro que o aluno deve reconstruir os significados no âmbito da ciência, pois a Educação em Ciências só se justifica se ela for capaz de conferir outros sentidos e modos alternativos de explicar os fenômenos para além daqueles que os estudantes já utilizam no seu cotidiano (Mortimer, 1996).

O ***aprendizado por meio de modelos*** é uma dessas formas de promover aprendizagem significativa (M. A. Rea-Ramirez et al., 2008). A partir da análise de como experts⁵ resolvem problemas cuja solução não pode ser obtida a partir da retomada de

⁵ Estudantes de pós-graduação da área de ciências exatas (física, engenharia, computação) que foram solicitados a resolver problemas de física. Pediu-se a esses estudantes que ‘falassem alto’ todos seus pensamentos ao resolverem o problema. Em momento algum, eles foram solicitados a gerar analogias e modelos.

conhecimentos memorizados, e que requerem análise, raciocínio e imaginação, Clement (2008a) evidencia que a formação de conceitos e mudança conceitual em ciências ocorre através da proposição de analogias e modelos. A partir de trabalhos que analisam os diários científicos e manuscritos produzidos por cientistas, é possível perceber que os modelos desempenham papel central na mudança conceitual (M. A. Rea-Ramirez et al., 2008). Além disso, ao examinar o trabalho de Maxwell, Nersessian (1999) enfatiza três aspectos centrais na produção do conhecimento: o uso de analogias, o raciocínio com modelos e o papel de experimentos mentais. De acordo com Rea-Ramirez et al. (2008), o uso de analogias para promover a mudança conceitual (como, por exemplo, em Harrison & Treagust, 1996) marca o início das estratégias de ensino por modelos.

Em situações regulares de ensino, pode ser possível compreender como o estudante evolui conceitualmente a partir do uso de modelos ao se analisar o processo de ensino vivenciado por ele, o que inclui as interações entre alunos e entre alunos e professor, ou seja, torna-se necessário examinar o contexto social no qual a construção, revisão e avaliação de modelos ocorre (o que vai além dos modelos de mudança conceitual que focavam apenas no aspecto cognitivo). Recorrendo à teoria de aprendizagem social (construtivismo social) (Vygotsky, 1978), torna-se possível buscar elementos que podem auxiliar a compreensão de como os estudantes e o professor negociam ideias, trocam experiências e interagem no processo de ensino-aprendizagem por modelos, por exemplo, a partir do constructo de zona de desenvolvimento proximal⁶. A junção das concepções de mudança conceitual como reorganização de ideias via proposição, análise e crítica de modelos e de construtivismo social dão origem à teoria de **co-construção de modelos** (que propõe como o conhecimento é construído a partir de interações entre professor-estudante e entre estudantes num processo de instrução por modelos) (M. A. Rea-Ramirez, J. Clement, & M. C. Núñez-Oviedo, 2008).

Existem poucos grupos de pesquisa que têm trabalhado especifica e intensamente com o ensino por modelagem, isto é, analisando como se dá a aprendizagem de conceitos científicos a partir da construção, expressão, teste, reformulação e avaliação de modelos em contextos de sala de aula. Dentre eles, destacamos o coordenado pelo professor John

⁶ Distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes.

Clement, da Universidade de Massachusetts, EUA, e o coordenado pela professora Rosária Justi, do Programa de Pós-graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais.

Os trabalhos produzidos por Clement e seus colaboradores (por exemplo, os encontrados na publicação mais recente: Clement & Rea-Ramirez, 2008) apresentam mecanismos utilizados por professores de ciências para auxiliar os estudantes a produzir modelos cada vez mais próximos dos curriculares⁷ (tipos de questões formuladas pelos professores, como lidar com as concepções alternativas, como discutir e socializar os modelos produzidos pelos estudantes etc.). Eles utilizam o ciclo GEM (Clement, 1989) – Geração, Avaliação e Modificação de modelos – como referencial para estruturar o ensino por modelagem (para mais detalhes, ver capítulo 2 deste documento).

Os estudos realizados na UFMG desde 2005 utilizam o diagrama Modelo de Modelagem, proposto por Justi e Gilbert (2002), como referencial para estruturar o ensino por modelagem (para mais detalhes sobre o diagrama, ver capítulo 2 desta tese). Esse diagrama foi elaborado a partir de poucas propostas existentes na literatura na época (Clement, 1989) e de análise de como cientistas produzem modelos na ciência (Nersessian, 1992). Justi e Gilbert (2003) também enfatizam a potencialidade do diagrama Modelo de Modelagem para orientar as ações do professor durante o ensino.

Durante a realização do meu Mestrado (2006-2008), tive a oportunidade de propor e aplicar uma estratégia de ensino baseada nos elementos presentes no diagrama Modelo de Modelagem para o tema ligações iônicas (para mais detalhes, ver capítulo 4 desta tese). Através da análise do processo de ensino, pude perceber que a maior parte dos estudantes pesquisados não desenvolveu as principais concepções alternativas sobre o tema (Mendonça & Justi, 2009a, 2009b) relatadas na literatura (Taber, 1994, 1997). Também pude perceber a relevância dos elementos constituintes do diagrama Modelo de Modelagem para planejamento de estratégias de ensino e aprendizagem dos estudantes (Mendonça & Justi, 2011). As conclusões obtidas no meu estudo são corroboradas pela pesquisa realizada por Maia e Justi (2009b) no contexto do ensino de aspectos conceituais de equilíbrio químico e Souza e Justi (2010) no contexto do ensino de aspectos energéticos envolvidos nas transformações químicas.

⁷ São simplificações dos modelos científicos. Nesse livro, os autores empregam o termo “modelo alvo” nesse sentido. Para mais detalhes, ver capítulo 2.

Apesar de a utilização de atividades fundamentadas em modelagem em situações regulares de ensino ser um campo recente⁸, é possível afirmar que o ensino por modelagem é promissor quanto ao desenvolvimento de conhecimentos científicos pelos estudantes e mudança conceitual. Por exemplo, no trabalho de Mendonça e Justi (2009b), a maior parte dos alunos preferiu o modelo 'NaCl em rede' para explicar as propriedades físicas do NaCl ao invés de modelos 'NaCl molécula' (que, segundo a literatura, é bastante frequente entre os alunos). Além disso, eles utilizaram o modelo 'NaCl em rede' de forma coerente para explicar dados empíricos. Isso pode ser justificado pelo fato de, nesse tipo de ensino, os professores não apresentarem modelos 'prontos' para os estudantes, mas os auxiliarem a construí-los ativamente a partir de seus conhecimentos prévios. Como os alunos têm a oportunidade de expressar seus modelos mentais, torna-se possível a percepção das concepções alternativas pelo professor – situação que, geralmente, não é facilitada pelo ensino tradicional (Erduran & Duschl, 2004). Alguns autores ressaltam também a importância da modelagem para o ensino de temas de natureza fortemente abstrata, devido à construção e manipulação de modelos 3D ou pseudo-3D (virtuais) favorecer a visualização e porque conceitos como átomos e moléculas são, por natureza, modelos (Erduran & Duschl, 2004).

Entretanto, a compreensão de conceitos científicos é apenas uma das formas de aprendizagem possibilitada pelo ensino por modelagem⁹. Tendências atuais do Ensino de Ciências enfatizam a necessidade de os estudantes: adquirirem noções sobre natureza da ciência, apreciarem como e porque teorias e modelos são construídos na ciência e terem oportunidade de participar de atividades de construção de conhecimento (Hodson, 1992, 2003; Millar & Osborne, 1998) (para mais detalhes, ver capítulo 2). Em outras palavras, elas refletem a visão de que é importante não apenas adquirir conhecimentos declarativos e propor explicações através do uso deles, mas compreender como raciocinamos de maneira a concluir porque pensamos de uma forma e não de outra (Erduran & Duschl, 2004; Osborne

⁸ Na literatura são encontrados relatos de pesquisa envolvendo modelagem, porém muitos envolvem a aplicação para grupos pequenos de alunos e requerem o uso de computadores, o que não reflete as condições regulares de ensino em nosso país.

⁹ Ao fazer a distinção entre o campo de pesquisas sobre modelagem e aprendizagem conceitual não temos o intuito de dizer que o aprendizado de conceitos é algo que acontece separadamente do aprendizado sobre ciência. A opção por escrever o texto da forma como está estruturado é evidenciar para o leitor que minha trajetória do mestrado até o doutorado foi baseada neste caminho, isto é, o foco na modelagem para favorecer a aprendizagem conceitual como pesquisa e a minha atuação como professora me fizeram enxergar a relevância da mesma para uma aprendizagem de ciência mais ampla (neste caso, argumentação científica) e investigar como isso ocorre.

& Patterson, 2011). Alguns pesquisadores sistematizam a importância da educação científica para o desenvolvimento do raciocínio científico:

“Conhecimentos científicos podem ser provisórios, mas habilidades científicas e processos não são.” (Brook, Driver, & Johnston, 1989, p. 13).

“O aumento da complexidade técnica, especialização e rápida evolução do conhecimento em ciência tornam o ensino de um corpo particular de conhecimento científico um objetivo educacional insatisfatório e pouco desejável. Mais proveitoso seria pensar na Educação em Ciências como forma de promover uma maneira de pensar. O desenvolvimento do pensamento científico seria um objetivo significativo do Ensino de Ciências” (Kuhn, 1991, p. 319).

Para alguns pesquisadores, a modelagem é um dos principais processos científicos (Bottcher & Meisert, 2010; Erduran & Duschl, 2004; Giere, 2001), e os modelos são as formas pelas quais cientistas raciocinam e divulgam os resultados de suas pesquisas para seus pares (Giere, 1999; Nersessian, 1992). Dessa forma, a modelagem é adequada aos objetivos mais amplos para o Ensino de Ciências, pois se constitui em uma forma autêntica de pensar cientificamente em função de englobar as cinco características principais deste processo: hipótese, teste, revisão, explicação, e previsão (Windschitl, Thompson, & Braathen, 2008), e a argumentação está envolvida nessas operações epistêmicas. Assim, o ensino através da modelagem pode contribuir para que os alunos aprendam sobre como o conhecimento científico é produzido e desenvolvam o pensamento científico quando eles estiverem imersos no processo de produção, teste, revisão e levantamento das abrangências e limitações de modelos. Isso não implica no fato de os alunos serem apresentados a algum método de produção de modelos, como o diagrama Modelo de Modelagem¹⁰. Acreditamos que os alunos devem ter noção das principais etapas necessárias ao processo de modelagem e desenvolver as habilidades inerentes ao processo quando estiverem imersos na própria prática de produção de conhecimentos, de forma análoga ao que ocorre na ciência.

Um dos objetivos atuais de nosso grupo de pesquisa é compreender melhor como o ensino por modelagem pode contribuir para o desenvolvimento do pensamento científico

¹⁰ Isso seria incoerente por pelo menos dois motivos. Primeiro, porque não há um único método para produção de modelos na ciência, assim como não existe um método de produção de conhecimentos na ciência. Segundo, porque não desejamos cometer os mesmos erros no Ensino de Ciências ocorridos anteriormente, quando os estudantes deveriam seguir um método com etapas rígidas para produção de conhecimentos. Para mais detalhes, ver capítulo 2.

dos estudantes. Maia e Justi (2009a) e Gilbert, Justi e Queiroz (2009) investigaram as habilidades investigativas e os níveis de capacidade visual, respectivamente, de uma turma de ensino médio que aprendeu ligações químicas a partir de atividades de modelagem desenvolvidas por membros do grupo. De forma geral, os pesquisadores constataram a eficácia do ensino fundamentado em modelagem a partir do diagrama Modelo de Modelagem e a importância das interações entre os estudantes – e entre esses e o professor – para o desenvolvimento dessas habilidades.

Eu era a professora da turma investigada nessas pesquisas em 2007. Ao aplicar as estratégias de ensino, pude perceber a importância da argumentação no processo de modelagem, além de como as atividades de modelagem tendem a favorecer a argumentação pois, ao longo daquele ano letivo, apliquei quatro estratégias de ensino fundamentadas em modelagem para aquela turma. Quando os estudantes (que se encontravam organizados em grupos) tinham que produzir um modelo para explicar um fenômeno, ou para resolver um problema, eles, geralmente, apresentavam pontos de vista divergentes. Cada estudante defendia seu ponto de vista a partir de justificativa(s) que demonstrava(m) o mérito de seu raciocínio. Os estudantes também apresentavam críticas aos pontos de vista opostos por meio de razões contrárias. Quando solicitavam minha participação nas discussões, sempre procurei pedir a eles que justificassem claramente as suas opiniões, pois só dessa forma poderíamos buscar consenso. Quando chegavam a um acordo – o que algumas vezes ocorria com a minha mediação a partir da proposição de questões, do favorecimento da integração de dados ou da retomada de conhecimentos prévios – eles propunham um modelo inicial. Caso não chegassem a esse acordo, havia a convivência de mais de um tipo de modelo no mesmo grupo. Isso não era um problema, desde que cada aluno argumentasse a favor de seu modelo. Durante a socialização dos modelos dos grupos para a turma, cada um deles tinha que argumentar a favor de seu(s) modelo(s). Eu também solicitava aos estudantes que propusessem refutações aos modelos dos colegas. Para avaliar os modelos construídos, era necessário perceber se o modelo proposto pelo grupo era capaz de explicar adequadamente dados disponíveis. Portanto, para concluir se um modelo era capaz de explicar um fenômeno, era necessário argumentar sobre o motivo de o modelo explicar determinadas evidências. Caso necessário, os modelos eram reformulados ou mesmo rejeitados. Nesse caso, os estudantes tinham que explicitar porque estavam descartando um modelo e apresentar razões favoráveis para a adoção de outro modelo. Esse processo de produção e revisão de modelos a partir da argumentação

racional¹¹ conduzia a um modelo consensual da turma. Nesses casos¹², tais modelos consensuais apresentaram características congruentes com o modelo curricular. Enquanto professora, pude perceber, a partir das discussões ocorridas em sala de aula, das atividades escritas produzidas pelos estudantes, e de suas avaliações, que a qualidade dos argumentos deles se sofisticava a partir das várias oportunidades que eles tinham de produzir, expressar, testar, modificar, reformular e avaliar modelos. Uma evidência¹³ disso foi observada quando, ao final das atividades sobre ligação iônica, vários estudantes afirmaram que o modelo 'NaCl molécula' não era capaz de explicar as interações fortes existentes no cloreto de sódio. Para eles, esse modelo não justificaria a elevada temperatura de fusão (808°C) do cloreto de sódio. Segundo eles, o modelo 'NaCl em rede' era capaz de explicar o dado de temperatura de fusão, pois evidenciava várias interações entre íons de cargas opostas. Alguns grupos propuseram modelos 2D e 3D em formato cúbico para o NaCl, mas disseram que não tinham dados que provassem o formato do retículo, isto é, reconheceram que o modelo deles era uma suposição. Esse exemplo, ilustra que o argumento para a escolha do modelo 'NaCl em rede' foi baseado em dados empíricos e em como esse modelo explicava esses dados. O exemplo mostra também que os estudantes não descartaram o modelo 'NaCl molécula' aleatoriamente e, ainda, que eles não concluíram sobre algo na ausência de dados. Em outras palavras, demonstram a existência da argumentação na avaliação de conhecimentos (Jiménez-Aleixandre, 2010; Jiménez-Aleixandre & Puig Mauriz, 2010).

É importante ressaltar que durante a aplicação daquelas estratégias de ensino fundamentadas em modelagem, eu não tinha um conhecimento formalizado a respeito de argumentação¹⁴ e o ensino não foi estruturado para o desenvolvimento da argumentação. Isto ocorreu de forma implícita. Entretanto, apesar desses fatores, pude perceber – não a

¹¹ Existe uma tensão entre a percepção ingênua de argumentação como sendo uma guerra que objetiva identificar um vencedor, em contraste com a visão de argumentação como sendo um processo colaborativo e social, necessário para resolução de problemas. Sempre me preocupei que os estudantes pensassem de acordo com a segunda visão.

¹² A princípio, não há problema quando o modelo consensual da turma não apresenta características similares ao modelo curricular, desde que o professor discuta o modelo curricular como uma alternativa a ser analisada, assim como os outros modelos produzidos, isto é, que ele mostre o que cada modelo explica e não explica em relação a determinados fenômenos e, a partir de análise racional (realizada com a participação dos alunos) conclua sobre qual é o melhor modelo. É necessário, portanto, que o professor não apresente o modelo curricular de forma autoritária (Justi, 2006).

¹³ Esse exemplo foi recortado do artigo Mendonça e Justi (2009b), no qual apresentamos e discutimos uma visão geral do processo de aprendizagem dos estudantes dessa turma. Nossa preocupação no artigo era evidenciar a ocorrência de aprendizagem de conceitos através da modelagem.

¹⁴ Como julgo ter agora, ver capítulo 2. Na época em que era professora do ensino médio (2005 até 2007) não tinha feito qualquer leitura sobre argumentação no Ensino de Ciências.

partir de instrumentos específicos, mas de observações gerais – a presença, o desenvolvimento e a importância da argumentação.

Essas observações estão de acordo com as ideias de Jiménez-Aleixandre (2008), que classificou as estratégias de ensino que visam promover argumentação em dois tipos: explícita e implícita. No primeiro caso, proporciona-se tempo para discutir o que é um argumento e as características de bons argumentos, antes de ocorrerem várias seções de atividades preparadas para o desenvolvimento da argumentação científica. No segundo caso, a discussão dos componentes do argumento e sobre o que é um argumento estão embutidas na cultura da sala de aula e nas tarefas de ensino. Jiménez-Aleixandre (2008) explicita que há padrões muito semelhantes entre as duas abordagens: a consideração de aspectos divergentes de um fenômeno; a existência de um contexto que permita o diálogo e a elaboração de critérios para julgamento entre teorias e modelos concorrentes; a ação do professor no sentido de encorajar os estudantes a refletir acerca de suas posições; a existência de um grupo colaborativo e a ocorrência da co-construção; o favorecimento da ocorrência de reflexões metacognitivas e de abordagem interativa e dialógica. Essas características fazem parte do ensino fundamentado em modelagem (Justi, 2006), justificando a possível ocorrência do desenvolvimento argumentação científica no mesmo (para mais detalhes, ver capítulo 2).

O desenvolvimento da argumentação é algo amplamente defendido pela literatura (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008; D. Kuhn, 1993; Voss & van Dyke, 2001). Kuhn (1993) apresenta a ideia de “ciência enquanto argumento”. Segundo a autora, podemos observar o raciocínio científico em crianças mais velhas¹⁵, adolescentes e adultos leigos se o concebermos como argumento. Em seu trabalho, ela apresenta as relações existentes entre o pensamento argumentativo presente no raciocínio envolvendo questões cotidianas e o raciocínio argumentativo presente na resolução de problemas científicos. De acordo com essas ideias, é possível afirmar que os estudantes tendem a utilizar o raciocínio argumentativo nas aulas de ciências porque esse é um tipo de pensamento comum ao cotidiano das pessoas quando elas estão envolvidas em situações em que têm que debater sobre as vantagens e desvantagens, prós e contras, causas e consequências, de perspectivas alternativas (Patronis, Potari, & Spiliotopoulou, 1999; Simonneaux, 2008). Para Kuhn, os

¹⁵ Kuhn critica as ideias de as crianças pequenas apresentarem uma curiosidade natural e de o papel do Ensino de Ciências ser manter viva essa curiosidade. Para ela, o conhecimento científico não surge de forma natural, ou a partir de pouco envolvimento dos educadores.

estudantes já trazem padrões de raciocínio para a escola¹⁶. Se desejamos ampliar a qualidade de seus raciocínios, temos que engajá-los em práticas para o desenvolvimento do pensamento – que são bem distintas das práticas utilizadas no Ensino de Ciências tradicional. Para ela, tais práticas devem levar os estudantes a desenvolver uma visão epistemológica de ciência enquanto processo avaliativo, no qual alguns modelos e algumas teorias são melhores do que outros(as) devido ao julgamento baseado nas abrangências e limitações de modelos por meio de argumentos a favor e contra cada teoria ou modelo. Além disso, o Ensino de Ciências deveria prover aos estudantes oportunidades de avaliar o papel de evidências na formulação de teorias e modelos (Duschl, 1998; Duschl & Ellenbogen, 2009). A modelagem tem o potencial de favorecer essas ações (Justi, 2006).

Clement (2008b) salienta a importância da realização de pesquisas que visam investigar como estratégias de ensino fundamentadas em modelagem podem favorecer o desenvolvimento do raciocínio argumentativo. Para ele, esse tipo de ensino pode favorecer a argumentação quando os estudantes estão engajados na construção de modelos e no debate dos méritos de diferentes modelos durante a fase de avaliação. Entretanto, até o presente momento não temos conhecimentos de trabalhos do grupo de Clement que visam investigar, especificamente, como o ensino por modelagem favorece o desenvolvimento e sofisticação do raciocínio argumentativo dos estudantes. Mais recentemente, Bottcher e Meisert (2010) se apropriaram das ideias de Clement a respeito da modelagem, bem como em dados das pesquisas conduzidas pelo grupo dele, para estudar o raciocínio argumentativo envolvido na modelagem. Apesar de julgarmos bastante coerentes as justificativas e ferramentas utilizadas pelos autores para evidenciar a relação entre argumentação e modelagem (como comentado no capítulo 2 desta tese), julgamos que os dados analisados ainda são pouco consistentes para a afirmativa dos autores sobre a produção de um construto teórico para entender argumentação. Eles próprios reconhecem que mais pesquisas com dados de sala de aula são necessárias.

Portanto, a partir de (i) recomendações gerais da literatura sobre a importância da argumentação no Ensino de Ciências e para a vida das pessoas, (ii) recomendações

¹⁶ Por exemplo, sujeitos não têm claro quais seriam evidências convincentes e tendem a concluir com dados pouco satisfatórios, não necessariamente consideram as evidências apresentadas a eles, fazem afirmativas adicionais sobre o contexto do problema, ou introduzem inferências que vão além das evidências apresentadas, introduzindo vieses (Chinn & Brewer, 1998). Outro caso, seriam as falácias argumentativas, por exemplo, *argumentum ad hominem*, que são um ataque direto ou indireto a uma pessoa adversária ao invés da discussão do argumento da pessoa. Para mais detalhes sobre falácias, ver van Eemeren et al. (1996).

específicas a respeito da potencialidade do ensino fundamentado em modelagem para o desenvolvimento da argumentação, e (iii) minhas observações realizadas enquanto professora, tornou-se relevante, para mim, investigar mais especificamente, a partir de instrumentos adequados, como a modelagem pode contribuir para o desenvolvimento da argumentação científica. Para atingir esse objetivo, pretendemos investigar a qualidade dos argumentos de caráter científico produzidos pelos estudantes; se houve sofisticação nos argumentos quando os alunos foram expostos à modelagem em dois momentos distintos; as características das atividades de modelagem e o papel da professora na condução das mesmas que podem ter influenciado na elaboração de argumentos. Estes são os focos das questões de pesquisa deste trabalho, que são apresentadas no capítulo 3.

Como discutido anteriormente, esta investigação tem o potencial de contribuir para o campo de pesquisas sobre modelagem, pois, como enfatizado por Clement (2008b), é necessário estudar como a modelagem influencia no desenvolvimento do pensamento, indo além de sua influência na aprendizagem de conceitos científicos. Mais especificamente, ela pode contribuir para o campo da modelagem porque pode favorecer uma compreensão da influência da utilização do diagrama Modelo de Modelagem no ensino a partir de perspectivas ainda não investigadas. Em última instância, esta investigação pode ser relevante para a formação de professores de ciências no sentido de subsidiar diretrizes que os ajudem a estruturar seus cursos e a favorecer a ocorrência de situações argumentativas em suas salas de aula.

Acreditamos que a pesquisa também pode contribuir para o campo de argumentação no Ensino de Ciências, que também é recente. Para Duschl e Osborne (2002), mais pesquisas devem ser desenvolvidas de forma a subsidiar professores e alunos com a construção e avaliação de argumentos científicos, principalmente, utilizando estratégias de ensino apropriadas – o que acreditamos ser possível neste contexto.

Visando favorecer a compreensão do leitor, a tese está organizada da seguinte forma: No capítulo 2 (Revisão da Literatura), discutimos uma visão de ciências baseada em modelos, os próprios modelos, modelos no âmbito da Química e o diagrama Modelo de Modelagem; tecemos considerações teóricas e metodológicas sobre argumentação; e discutimos a relação entre argumentação e o ensino. No capítulo 3 (Questões de Pesquisa), explicitamos as questões de pesquisa. No capítulo 4 (Coleta de Dados), caracterizamos a amostra e apresentamos como ocorreu a coleta de dados. No capítulo 5 (Análise de Dados)

apresentamos detalhadamente a proposta de análise de dados, as atividades de ensino por modelagem, os estudos de caso para dois dos grupos pesquisados, a análise detalhada dos estudos de caso e tendências a partir dessa análise. No capítulo 6 (Conclusões) buscamos responder as questões de pesquisa com base nos estudos de caso e discutir os resultados à luz da literatura. No capítulo 7 (Implicações para a Pesquisa e para o Ensino) discutimos algumas implicações para a pesquisa e para o ensino a partir das análises realizadas.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. UMA VISÃO DE CIÊNCIA BASEADA EM MODELOS

Na filosofia da ciência, a visão do conhecimento baseada em modelos pode ser considerada contemporânea, pois teve origem por volta de 1970 como uma alternativa às visões mais clássicas (empirismo e racionalismo clássico) (Develaki, 2007), que foram criticadas por filósofos, sociólogos e historiadores da ciência nas décadas de 1950 e 1960, principalmente com argumentos provenientes da análise histórica da construção e escolha de teorias no contexto científico (Chalmers, 2010). No início deste capítulo, alguns aspectos das visões clássicas, anteriores à caracterização da visão baseada em modelos, são retomados brevemente, com o objetivo de destacar características que as distinguem e que nos conduzem à adoção da última como estruturadora do Ensino de Ciências. Para facilitar essa retomada, nos guiamos pelo esquema proposto por Nussbaum (1989), que é apresentado na figura 2.1.

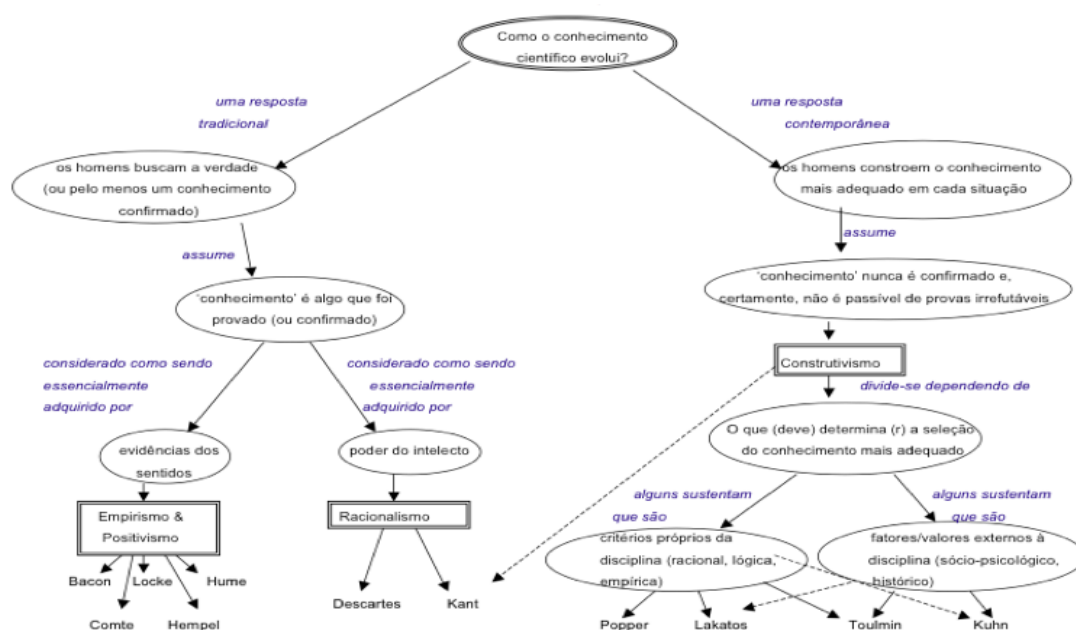


Figura 2.1. Uma classificação de várias estruturas filosóficas a partir de diferenças em algumas afirmações básicas (Nussbaum, 1989).

A distinção entre as visões filosóficas clássicas (empirismo e racionalismo) e as visões mais contemporâneas (construtivismo) se relaciona, principalmente, à forma de pensar a relação entre conhecimento e verdade. No caso das visões tradicionais, há em comum o pensamento sobre o conhecimento como algo provado, sendo que a fonte de produção do conhecimento (método de validação) é o que distingue a corrente empirista (na qual o conhecimento é produzido a partir de evidências dos sentidos) da racionalista (na qual ele é produzido usando o raciocínio).

Segundo a corrente empirista, as teorias são derivadas de maneira rigorosa dos dados adquiridos por observação e experimento, isto é, a ciência é baseada naquilo que podemos ver, ouvir, tocar etc. Opiniões e experiências pessoais não têm lugar nessa visão de ciência, pois ela considera que a observação é neutra, isto é, desprovida de pré-conceitos. Para os empiristas, esta é uma característica essencial por trazer objetividade à ciência. Assim, a partir das observações é possível chegar a afirmativas singulares que, por sua vez, podem culminar em afirmativas mais gerais, isto é, leis e teorias a respeito do universo (raciocínio conhecido como indução). A generalização a partir de uma lista finita de proposições de observações singulares para uma lei universal se dá mediante um número grande de observações repetidas sobre uma ampla variedade de condições. Uma vez que o cientista tenha produzido leis e teorias universais, é possível derivar delas várias consequências que podem ser usadas como explicações e previsões (raciocínio conhecido como dedutivo) (Chalmers, 2010; Develaki, 2007; Praia, Cachapuz, & Gil-Perez, 2002).

Os oponentes a essa visão de conhecimento combatem a ideia de que é possível se chegar a generalizações universais mediante um número grande de observações, pois isto é algo muito vago. Um grande número de observações varia de acordo com as situações e é algo difícil de ser estimado. Eles também criticam o fato de as variações das condições de observações não serem guiadas por teorias prévias, pois só é possível estimá-las em um experimento a partir de hipóteses coerentes. Por exemplo, para medir se há variação na temperatura de ebulição da água em função da variação da altitude, o horário do dia em que é feita a coleta de dados não é um fator coerente de análise. A observação na visão empirista também é criticada pelo argumento de que observadores diferentes percebem o mundo de forma diferente justamente por terem conhecimentos diferentes, o que implica que a observação não é neutra (Chalmers, 2010; Develaki, 2007; Praia et al., 2002).

A ideia de racionalidade expressa na figura 1 se relaciona à existência de procedimentos formais para se chegar a conclusões. Em outras palavras, existe um método científico (constituído de regras lógicas universais e absolutas) que conduz a conhecimentos verdadeiros (Nussbaum, 1989).

Essas visões de conhecimento são combatidas por Giere (2001) ao criticar a noção de leis como generalizações universais. Para ele, objetos e sistemas do mundo real não são descritos plenamente por leis. Além disso, ele discorda da ideia de que o conhecimento seja falso ou verdadeiro, e defende que ele seja considerado como coerente ou não a alguns aspectos do mundo real. Por sua vez, Matthews (1998, 2007) critica a ideia de que é possível se chegar a um conhecimento verdadeiro do mundo a partir da aplicação de regras sistemáticas livres da influência de fatores externos.

A visão de ciência baseada em modelos é coerente com a visão construtivista do conhecimento. Isto porque a relação do conhecimento com o mundo não se baseia em ele ser ou não verdadeiro, mas sim em termos da extensão em que o modelo se ajusta ao mundo (Giere, 1999, 2001), o que implica em distintos modelos com diferentes capacidades de explicação (Giere, 2001, 2004). As ideias de Giere quanto à relação dos modelos com a “verdade” estão esquematizadas na figura 2.2.

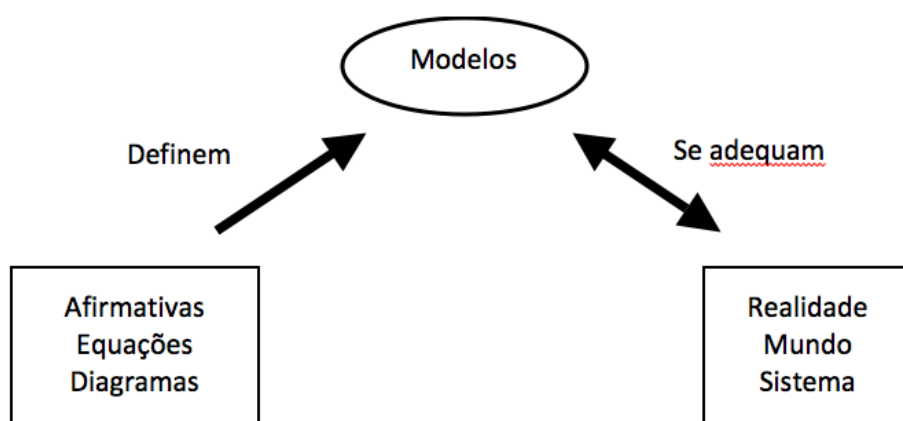


Figura 2.2. Relação entre modelos e o mundo (Giere, 2001, p. 24).

De acordo com Giere (2001), nas visões clássicas do conhecimento há uma relação de verdade direta entre teorias e o mundo, enquanto na visão baseada em modelos isto não

acontece. Nesse sentido, modelos podem ser entendidos como instrumentos por serem mediadores entre teorias e o mundo (Morrison & Morgan, 1999).

Neste trabalho, consideramos que a distinção entre teorias e modelos está relacionada à abrangência:

“teorias consistem de princípios gerais que governam o comportamento de um vasto grupo de fenômenos; modelos são usualmente mais restritos e, geralmente, vários modelos são necessários na aplicação dos princípios gerais a um número de casos específicos” (Morrison & Morgan, 1999, p. 12).

Giere (1999, 2001, 2004) afirma que a principal função dos modelos é a **representação** do mundo, que é uma prática essencialmente pragmática: “S usa X para representar W de acordo com os propósitos P” (Giere, 2004, p. 743), onde S é um cientista, um grupo de cientistas ou uma comunidade científica; X é um modelo (expresso em quaisquer dos modos de representação) e W é um aspecto do mundo real que é representado segundo propósitos, P, bem definidos. Em outras palavras:

“Modelos científicos funcionam como formas de representação de aspectos do mundo, que variam conforme abrangência, precisão, aproximação e detalhes” (Giere, 2009, p. 252).

Desde 1980, a ciência cognitiva tem descrito o raciocínio e a cognição em termos de modelos mentais, que são entendidos como representações estruturais, comportamentais ou funcionais análogas ao mundo real, às situações imaginárias, eventos ou processos. Assim, um modelo satisfatório é aquele que caracteriza adequadamente aspectos do alvo representado (Jonassen, 2008). Um modelo mental é gerado através de representações e construções pessoais e só é acessível àquele que o construiu. De acordo com Vosniadou (2002), os modelos mentais são utilizados na construção de explicações, particularmente em situações em que as respostas não são derivadas de uma informação prévia. Os modelos expressos são modelos mentais apresentados em alguns dos modos de representação: equações, diagramas, desenhos, simulações computacionais, gráficos etc. (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000).

A ciência cognitiva tem evidenciado a existência de uma relação dinâmica e recíproca entre modelos mentais e expressos (Jonassen, 2008). As habilidades envolvidas na construção de modelos mentais são inerentes à cognição humana, pois as pessoas tendem a interagir com o mundo a partir deles (Vosniadou, 2002) e são significantes na resolução de

problemas, porque os modelos podem ser entendidos como forma de organização do conhecimento (Nersessian, 2002). A distinção entre um modelo mental e um conhecimento em geral relaciona-se ao fato de o modelo poder ser rodado na imaginação para produzir descrições, explicações, prever comportamentos de eventos e estados futuros (Nersessian, 2002).

Modelos apresentam outras funções na ciência, tais como: expressão e externalização do pensamento, construção de teorias e ampliação delas (Morrison & Morgan, 1999), favorecimento da visualização de entidades abstratas, sustentação de inferências, previsões e simulações utilizadas em ambas (Nersessian, 2002).

Os modelos expressos tornam os modelos mentais acessíveis a outras pessoas a partir de aspectos linguísticos e não linguísticos, como os utilizados em figuras, diagramas e modelos concretos (3D), gestos e simulações para caracterização de processos, eventos, fenômenos ou ideias. Os artefatos não linguísticos devem ser compreendidos não apenas como facilitadores da visualização, mas como aspectos que caracterizam um modelo teórico (abstrato) (Giere, 2001).

Na construção de modelos, algumas aproximações e idealizações são necessárias. Por exemplo, no mundo real é fisicamente impossível a existência de cargas pontuais, vácuo perfeito, gases reais etc. (Giere, 2009; Morrison & Morgan, 1999; Portides, 2007). Tais modelos foram propostos também para facilitar o trabalho dos cientistas, por exemplo, ao lidar com equações mais facilmente tratáveis, abstrair características e propriedades e simplificar partes relevantes de um sistema em estudo visando facilitar sua compreensão (Grandy, 2003; Portides, 2007). Além disso, as simplificações podem acarretar em maiores ganhos do que perdas, pois o modelo se tornar mais claro conceitualmente ao, deliberadamente, negligenciar os detalhes e enfatizar os aspectos mais importantes. Um exemplo disso é a utilização da Lei de Coulomb (modelo eletrostático) para quantificar a energia liberada na formação de substâncias iônicas. Esse modelo (baseado na ideia de que íons são cargas pontuais) fornece boa compreensão qualitativa sobre como esse tipo de substância é formada. Ao realizar os cálculos energéticos envolvidos na formação do cloreto de sódio a partir da Lei de Coulomb, isto é, levar em consideração todas as forças atrativas e repulsivas em diferentes distâncias entre os íons em um retículo cristalino, se obtém um valor que difere 1% do experimental (McWenny, 1979). Isto significa que o modelo quantitativo é satisfatório para várias das finalidades usuais para as quais é utilizado pelos

químicos. Caso se deseje uma maior aproximação entre os cálculos teóricos e os valores experimentais, algumas constantes podem ser adicionadas à equação baseada na Lei de Coulomb (por exemplo, para corrigir a distorção dos íons devido aos campos elétricos criados). Entretanto, isso não resulta em uma ampliação considerável da compreensão fundamental disponibilizada pelo modelo eletrostático, ou seja, do entendimento das principais propriedades gerais dos compostos com características tipicamente iônicas (para mais detalhes, ver Mendonça & Justi, 2009a). Este exemplo ilustra claramente que modelos são construtos humanos, isto é, abstrações que nos fornecem diferentes graus de conhecimento do mundo em função da abrangência desejada e no qual os elementos imaginação e criatividade estão presentes (Giere, 2009). Tal constatação justifica a inclusão dessa corrente de pensamento na parte da figura 2.1 correspondente às visões construtivistas (visão contemporânea da ciência).

Morrison e Morgan (1999) salientam que existem poucas propostas na literatura a respeito de como modelos são construídos, avaliados e revisados (processo conhecido como modelagem). Segundo elas, talvez isso seja devido ao fato de a modelagem envolver habilidades tácitas, que não são ensinadas, mas aprendidas na prática, ou, ainda, de envolver criatividade, pois, para elas, a proposição de modelos também é um arte. Na literatura da área de filosofia da ciência, Giere (1999, 2001, 2004) é um dos filósofos que apresenta um esquema que oferece caminhos para a modelagem que têm sido bem aceitos pelos pesquisadores da área de Ensino de Ciências (por exemplo, por Bottcher & Meisert, 2010; Develaki, 2007), supostamente pela aplicabilidade aos modelos no campo da física e às coerências com os estudos da ciência cognitiva a respeito de modelos (por exemplo, Nersessian, 1999). É válido ressaltar que isso não implica em etapas rígidas a serem seguidas (como se pensava existir na corrente racionalista) e que outras possibilidades de esquemas para fundamentar a modelagem são possíveis (Nersessian, 2002), o que pode ser justificado pela complexidade da ciência, que não pode ser facilmente descrita por meio de regras e procedimentos (Chalmers, 2010).

Na figura 2.3 apresentamos uma visão de ciência baseada em modelos proposta por Giere (2010).

Segundo o autor, princípios (afirmativas, leis e teorias) são constituintes dos modelos abstratos. Por exemplo, as leis de movimento de Newton são princípios que caracterizam uma classe de modelos altamente abstratos, uma vez que

“As leis de Newton não são “leis da natureza”, no sentido de generalização universal de aspectos do mundo. Por si só, não podem ser usadas para fazer afirmativas diretas sobre o mundo” (Giere, 2010, p. 270).

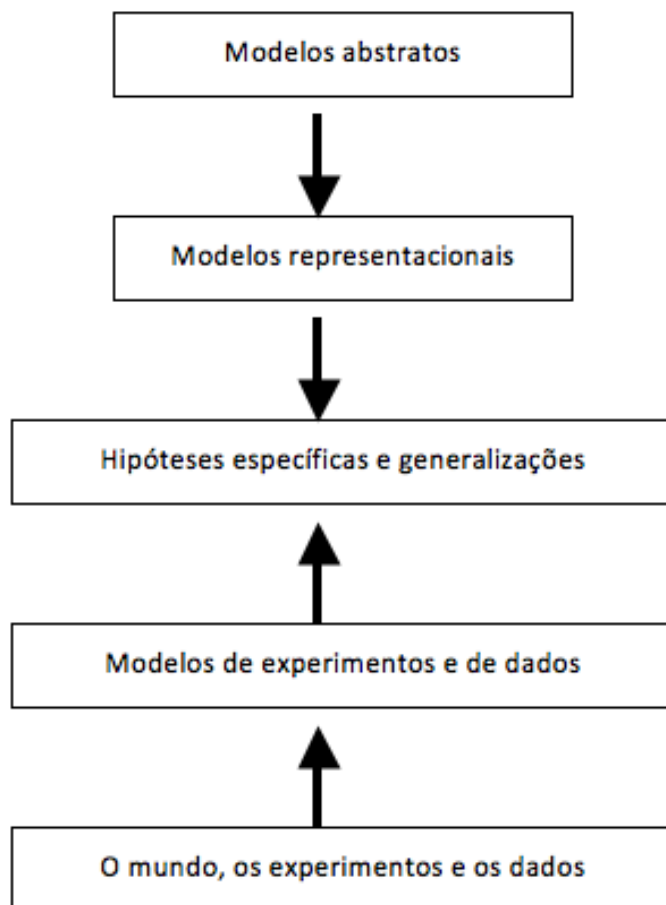


Figura 2.3. Uma visão de ciência baseada em modelos (Giere, 2010, p. 270).

Uma hipótese consiste de afirmativas que interpretam o ajuste de um modelo particular ao mundo e as generalizações se tornam possíveis quando um determinado modelo se ajusta a uma classe de fenômenos. A comparação pode ocorrer a partir de experimentos e dados coletados diretamente do mundo real ou então a partir de modelos de dados, isto é, dados coletados sob condições experimentais controladas, dados que passaram por análises estatísticas, entre outras técnicas. Portanto, a comparação é do tipo modelo-modelo, considerando que os dados são objetos teóricos (Matthews, 2007).

Para averiguar a adequação do modelo aos dados ou modelo de dados torna-se necessário avaliar o ajuste entre eles. Entretanto, isto não significa um ajuste total, pois

modelos não são susceptíveis à verdade ou falsidade. Por outro lado, hipóteses sobre a adequação dos modelos são susceptíveis a esse tipo de julgamento.

Na visão baseada em modelos, “o propósito da observação e experimentação na ciência é auxiliar cientistas a decidir qual modelo melhor se ajusta aos aspectos do mundo real sob investigação” (Giere, 2001, p. 25), o que difere radicalmente da proposta empirista da ciência. A figura 2.4 apresenta esse processo de julgamento de modelos.

No contexto de ciência baseada em modelos, o objetivo da argumentação é a avaliação de modelos a partir da verificação da extensão em que eles são similares à realidade através das evidências empíricas (Bottcher & Meisert, 2010).

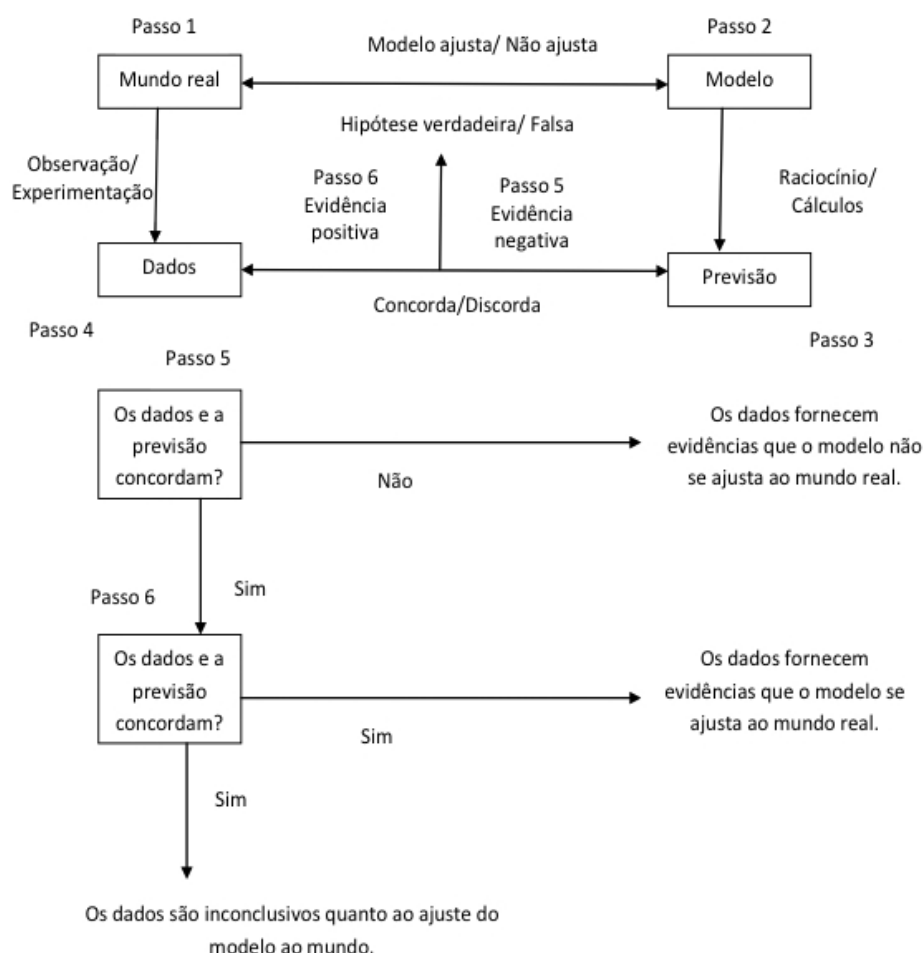


Figura 2.4. Etapas possíveis na avaliação de modelos a partir das ideias de Giere (2001).

O(s) sujeito(s) envolvido(s) no processo constrói(em) um modelo (passo 2) a partir da interação de uma série de fatores, que não podem ser plenamente descritos por ser um processo mental em que nem todos os aspectos são externalizados pelo(s) sujeito(s). Os

principais fatores são; (i) leis, teorias e modelos que fazem parte da(s) estrutura(s) cognitiva(s), (ii) relações analógicas e matemáticas para representar algum aspecto do mundo real (Nersessian, 2002) (previamente definido (passo 1)), (iii) habilidades linguísticas e visuais (Nersessian, 1999), e (iv) criatividade do(s) sujeito(s) (Morrison & Morgan, 1999). A partir daí, são propostas hipóteses a fim de verificar se o modelo é adequado à realidade. Previsões a partir do modelo são feitas (passo 3) e comparadas aos dados (passo 4). Se não há adequação (passo 5), conclui-se que o modelo não se ajusta ao aspecto do mundo estudado. Giere apresenta um argumento dedutivo para exclusão do tipo: “Se o modelo se ajusta ao mundo real, as previsões devem concordar com os dados. Se não concordam, o modelo não se ajusta ao mundo real” (Giere, 2001, p. 26). Ele enfatiza que

“Ninguém decide categoricamente que o modelo não se ajusta ao mundo. Ao invés disso, alguém pode concluir que existem boas evidências ou boas razões para acreditar que o modelo não se ajusta” (Giere, 2001, p. 26).

Ele também enfatiza que

“na ciência, as decisões não são tomadas com base em poucos experimentos e dados; em geral existem vários experimentos e dados que levam a uma mesma conclusão” (Giere, 2001, p. 27).

Se há adequação das previsões aos dados (passo 6), novamente podem ocorrer duas situações. A primeira, aceitar a adequação do modelo ao mundo real a partir de um argumento do tipo: “Se o modelo se ajusta ao mundo real, a previsão deve concordar com os dados. Se concorda, o modelo se ajusta ao mundo real” (Giere, 2001, p. 27). O filósofo enfatiza que na ciência o conhecimento relativo a um campo de pesquisa particular deve ser levado em consideração no julgamento, o que indica que a decisão sobre boas evidências a favor de um modelo dependem da produção científica daquele momento específico, ou seja, o julgamento do conhecimento (ver figura 2.1, lado da resposta contemporânea) depende de fatores específicos do campo disciplinar. Segundo ele, fatores pessoais e sociais envolvidos, com destaque para a persuasão envolvida na fala, também influenciam na escolha das teorias e modelos, ou seja, o julgamento do conhecimento depende de fatores externos à disciplina (ver figura 2.1, lado da resposta contemporânea).

Na segunda situação, não é possível afirmar que o modelo é adequado, mesmo com a concordância das previsões com os dados, pois não há evidências suficientes para essa conclusão.

Segundo Giere (2001), é vantajoso ensinar o raciocínio científico em termos de modelos e decisões baseadas em evidências ao invés de a partir de generalizações universais e protótipos de argumentos (raciocínios indutivo e dedutivo envolvidos na lógica empiricista) (aspecto mais detalhado no tópico 2.4). Concordamos plenamente com o filósofo e, por esses motivos, dentre outros apresentados a seguir, defendemos a modelagem como estruturadora do Ensino de Ciências.

2.2. UMA VISÃO DE ENSINO DE CIÊNCIAS BASEADA EM MODELAGEM

Neste trabalho, utilizaremos a definição de modelo proposta por Gilbert, Boulter e Elmer (2000) – representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou fenômeno para um dado sistema, que apresenta uma finalidade específica – que é bastante coerente com os aspectos discutidos na seção anterior por enfatizar a principal característica de um modelo: ser uma representação com objetivo definido.

No Ensino de Ciências, é importante distinguir alguns tipos de modelo. *Modelos científicos* são definidos como modelos expressos que ganham aceitação social através de teste e aprovação por uma comunidade científica. Como muitas vezes os modelos científicos são complexos (por exemplo, formulações matemáticas muito elaboradas), simplificações desses modelos, denominados *modelos curriculares*, são ensinados aos alunos. Tais simplificações devem, é claro, ser coerentes com o nível cognitivos dos alunos. Assim, existem vários modelos curriculares para um mesmo modelo científico. No contexto escolar, é importante também distinguir os modelos curriculares dos *modelos de ensino*. Os últimos são representações criadas com o objetivo de ajudar os alunos a aprender aspectos dos modelos curriculares. Os principais modelos de ensino utilizados são: bidimensionais (2D), tridimensionais (3D), computacionais (simulações) e analogias (Gilbert et al., 2000).

É possível aprender com modelos ao usá-los e/ou construí-los. Segundo Morrison e Morgan, “nós não aprendemos muito apenas observando um modelo – nós aprendemos muito mais ao construí-lo e manipulá-lo” (1999, p. 11-12). No Ensino de Ciências, também há vários pesquisadores (por exemplo, Erduran, 2001; Erduran & Duschl, 2004; Millar & Osborne, 1998) que têm enfatizado a importância de os estudantes não apenas aprenderem as abrangências e limitações dos principais modelos curriculares, mas como estes são gerados e avaliados no domínio científico, o que inclui aspectos de natureza da ciência.

Hodson (1992) apresentou os objetivos do Ensino de Ciências como favorecer a aprendizagem *de Ciências*, isto é, promover situações nas quais os alunos tenham condições de compreender o conhecimento científico conceitual; *sobre Ciências*, isto é, sobre aspectos de história, filosofia e metodologia de Ciências; relacionada a *fazer Ciência*, isto é, criar situações nas quais os alunos tornem-se capazes de participar de atividades que objetivem a aquisição de conhecimento científico. Tais objetivos foram devidamente interpretados para o domínio dos modelos por Justi e Gilbert (2002):

- *aprender ciências*, os alunos devem saber sobre a natureza, abrangência e limitações dos principais modelos científicos ou curriculares;
- *aprender sobre ciências*, os alunos devem ser capazes de avaliar o papel de modelos no desenvolvimento e disseminação dos resultados da pesquisa científica;
- *aprender a fazer ciência*, os alunos devem ser capazes de criar, expressar e testar seus próprios modelos.

A pesquisa apresentada nesta tese visa favorecer a aprendizagem de ciências nestas três instâncias a partir do ensino por modelagem. Quando se comenta sobre a relação entre modelagem e aprendizagem, torna-se necessário esclarecer o que se entende por aprendizagem. Como comentado anteriormente (e representado na figura 2.1), de acordo com a filosofia construtivista, o conhecimento é construído pelo ser humano, nunca é confirmado e a escolha da melhor teoria ou modelo depende das circunstâncias. A consideração das ideias construtivistas leva a definir aprendizagem como um processo de estabelecimento de relações mentais entre o conhecimento já existente e novas informações (Driver, 1989). Nesse sentido, a aprendizagem depende de três aspectos: o que o aprendiz já sabe; as características da situação de aprendizagem em si e a natureza das relações que são estabelecidas. Nessa perspectiva, a aprendizagem pode ser avaliada a partir de uma mudança cognitiva do indivíduo, que pode ser observada indiretamente através de atividades sucessivas. Numa perspectiva sócio-cultural, a aprendizagem é vista como um processo que emerge das interações sociais (Vygotsky, 1978).

Visando estruturar atividades de ensino que pudessem favorecer a aprendizagem de ciências nas instâncias destacadas, utilizamos como referencial o diagrama Modelo de Modelagem. Tal diagrama foi proposto por Justi e Gilbert (2002) a partir de estudos sobre como cientistas constroem modelos e de propostas de outros pesquisadores (Clement, 1989; Gentner & Gentner, 1983; Giere, 1999). A fim de explicar tal referencial, inicialmente

apresentamos uma breve descrição da proposta de modelagem de Clement (1989, 2000). Posteriormente, apresentamos uma descrição detalhada do diagrama proposto por Justi e Gilbert (2002) a partir da publicação original e de outras publicações de seus autores (Justi, 2006; Justi & Gilbert, 2006). Os aspectos relacionados ao ensino são exemplificados a partir da pesquisa envolvendo ligação iônica (Mendonça & Justi, 2009a, 2009b; Mendonça & Justi, 2011). Por fim, destacamos a coerência da proposta em relação à de Giere e em relação aos objetivos traçados para o Ensino de Ciências atualmente (AAAS, 1990; Brasil, 2001; Millar & Osborne, 1998).

Segundo Clement (1989), cientistas raciocinam de acordo com um processo cíclico de geração, avaliação e modificação de modelos, denominado por ele de ciclo **GEM** (figura 2.5). Ele descreve a construção de modelos como um processo no qual um modelo inicial é criticado e revisado, originando uma série de modelos com crescente aumento de complexidade e sofisticação. A ideia geral apresentada na figura 2.5 é a de que um modelo é gerado pelo(s) indivíduo(s) ao tentar resolver um problema (por exemplo, explicar a ocorrência de um fenômeno). Esse modelo passa por uma avaliação, de forma a averiguar se ele cumpriu o objetivo para o qual foi proposto. Caso haja problemas complexos com esse modelo, ele deve ser descartado e outro modelo deverá ser proposto. Caso os problemas sejam simples, o modelo pode sofrer alguma(s) modificação(ões) e passar novamente por avaliação.

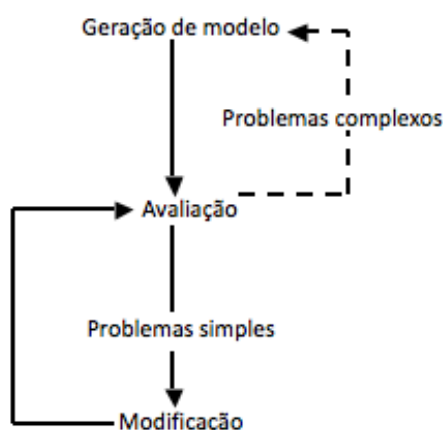


Figura 2.5. Ciclo GEM (geração, avaliação e modificação de modelos) (Clement, 1989).

Clement (2000) também propôs uma estrutura (figura 2.6) para descrever o caminho de aprendizagem do indivíduo a partir da construção de modelos. De acordo com essa

estrutura, o objetivo do ensino é que o estudante possa atingir um modelo alvo, que pode ou não ser sofisticado como o modelo científico consensual¹⁷. As ideias prévias do estudante (que podem ser modelos e conceitos coerentes e incoerentes em relação à situação problema), assim como seu raciocínio, constituem as unidades de construção para o desenvolvimento do modelo alvo, o que pode ocorrer via modelos intermediários parciais (modelo M_n para M_{n+1} , e assim sucessivamente).

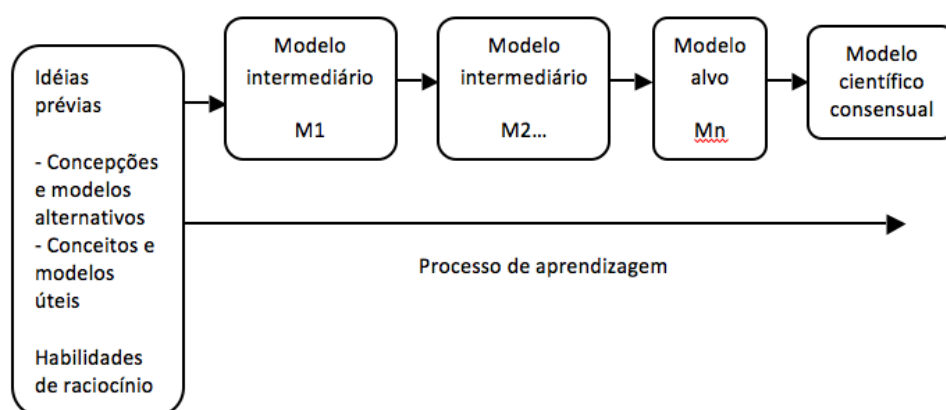


Figura 2.6. O caminho de aprendizagem proposto por Clement (2000, p. 1042).

Em uma das publicações mais recentes de Clement e seus colaboradores (Clement & Rea-Ramirez, 2008), foram apresentadas formas pelas quais professores podem estruturar e conduzir suas intervenções a partir de co-construção de modelos, isto é, um processo de construção de conhecimentos via geração, avaliação e modificação de modelos guiados pelo professor, mas com participação dos alunos. Segundo esses autores, o professor deve dar suporte ao estudante a partir da proposição de questões dirigidas. Eles destacam dois tipos de questões. Uma delas é chamada de *questão suporte*. Ela é desenvolvida para ativar o conhecimento já existente do estudante, de forma a relacionar esse conhecimento a experiências e dados disponibilizados na modelagem, contribuindo para a geração e modificação de modelos. As outras questões são denominadas *discrepantes* e são formuladas com o intuito de favorecer a insatisfação do estudante com um modelo, contribuindo para a sua reformulação. Essas questões podem contribuir para a aprendizagem do estudante porque ele tende a raciocinar a partir do movimento de “rodar” o seu modelo mental a fim de verificar a funcionalidade do mesmo em explicações e

¹⁷ Discordamos desse ponto de vista do autor, por julgamos que na escola são ensinados modelos curriculares (ver figura 2.6).

previsões. Com base na análise de situações de ensino, os autores perceberam que o professor também pode contribuir no processo a partir de novas informações e observações disponibilizadas aos estudantes, referências a comentários anteriores e dicas para integração de ideias visando a geração de um modelo. Os autores também ressaltam a importância de organizar os estudantes em grupos pela relevância das interações sociais na construção do conhecimento.

Considerando relatos de como cientistas constroem modelos, assim como as ideias originais de Clement e as de Giere, Justi e Gilbert (2002) propuseram o diagrama **Modelo de Modelagem** (figura 2.7). Justi e Gilbert (2003) salientaram a possibilidade de utilização do diagrama como estruturador do Ensino de Ciências baseado em modelagem, o que tem fundamentado as pesquisas desenvolvidas em nosso grupo de pesquisa. Todas elas ocorreram no contexto de aplicação de estratégias de ensino planejadas a partir do diagrama Modelo de Modelagem, isto é, as atividades de ensino foram elaboradas de forma que os alunos vivenciassem todas as etapas do processo de modelagem constituintes do diagrama.

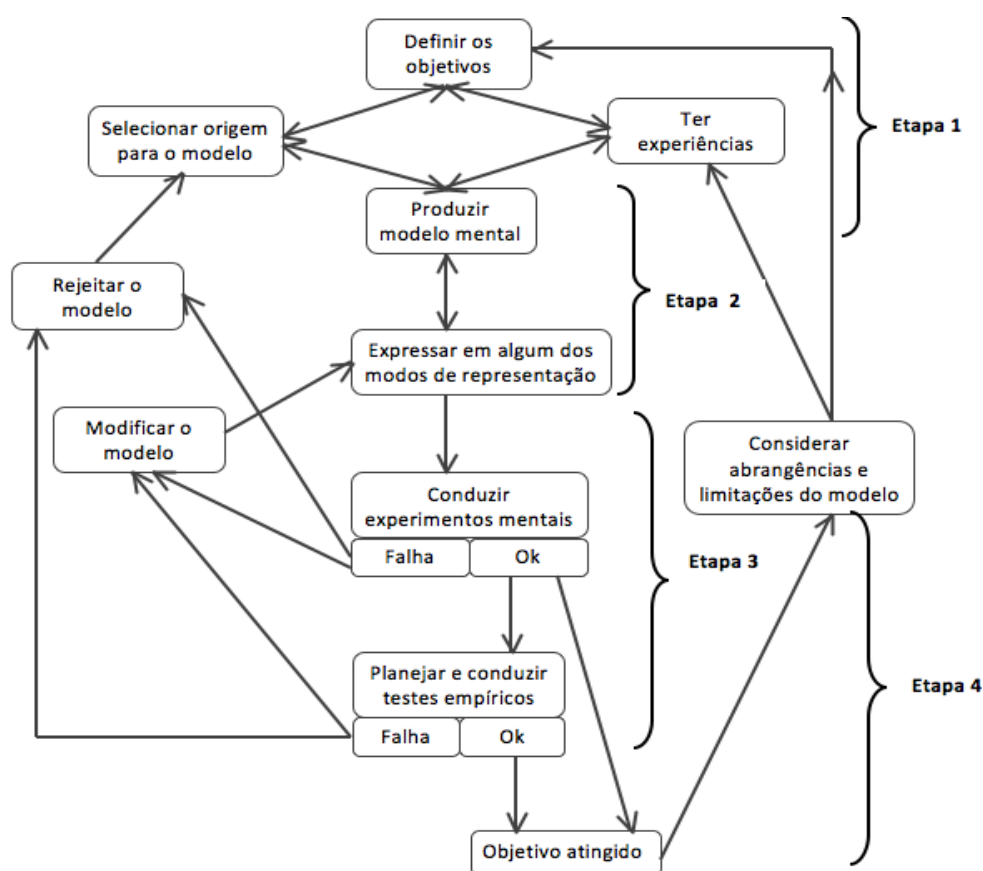


Figura 2.7. Diagrama Modelo de Modelagem adaptado de Justi e Gilbert (2002, p. 371).

De acordo com o diagrama, o processo de modelagem compreende quatro etapas. A primeira corresponde à **produção** de um modelo mental. Essa fase abrange quatro subetapas. Inicialmente, é necessário *definir os objetivos* para os quais o modelo será construído. Numa situação de ensino, essa tarefa é expressa nas atividades e pelo professor. Para tanto, é importante que o professor tenha claro um modelo curricular, isto é, uma simplificação do modelo científico que se espera que os alunos aprendam. Entretanto, é importante que o professor não fique preso a esse modelo como a única possibilidade ou como o único modelo ‘correto’, uma vez que outros modelos, igualmente coerentes e com poderes de explicação e previsão adequados podem ser propostos pelos alunos. Por exemplo, no ensino de ligações iônicas por modelagem, os alunos produziram modelos do tipo ‘NaCl em rede’ (que enfatizavam várias interações eletrostáticas entre íons de cargas opostas), mas a maioria¹⁸ não apresentou uma estrutura cúbica de face centrada. A professora ressaltou a coerência do modelo para explicar os dados experimentais (por exemplo, elevada temperatura de fusão) e enfatizou que não haveria como eles saberem exatamente o tipo de rede, pois as atividades realizadas não forneciam dados para isso.

Para a produção de modelos, é necessário que o sujeito tenha conhecimentos e modelos prévios que sirvam de base para a proposição de um novo modelo, ou que os conhecimentos sejam adquiridos a partir de observações e busca na literatura. No diagrama, isso se relaciona a *ter experiências com o alvo*. No ensino, as atividades de modelagem e o professor apresentam fenômenos e sistemas interessantes (observáveis ou não), dados (teóricos ou empíricos) e informações relevantes aos alunos com o intuito de dar suporte ao processo de elaboração do modelo. Ao selecionar essas informações, o professor deve estar atento às concepções alternativas que os alunos comumente desenvolvem sobre o tema a ser estudado. Ele também deve averiguar se os alunos têm noção de conceitos prévios que são pré-requisitos para favorecer a construção de um modelo mental. No ensino de ligações iônicas, por exemplo, esperava-se que os estudantes tivessem noções das propriedades periódicas energia de ionização e afinidade eletrônica, pois esses seriam os pré-requisitos para compreender quais são os íons que dão origem ao NaCl (Na^+ a partir de Na(s) e Cl^- a partir de $\text{Cl}_2(\text{g})$), aspecto essencial para se atingir o objetivo do modelo: explicar como o cloreto de sódio é formado.

¹⁸ Apenas os alunos que admitiram ter visto a estrutura cúbica do cloreto de sódio em livros didáticos expressaram esse tipo de estrutura em seu modelo.

Simultaneamente à organização dessas experiências na mente do indivíduo, ocorre a seleção de aspectos da realidade que podem ser usados para descrever o alvo (origem). Esses aspectos podem ser situações com as quais parece possível estabelecer uma analogia, ou recursos matemáticos adequados para a situação em questão (*seleção da origem do modelo*).

A partir do processo dinâmico de ocorrência dessas subetapas (organização de experiências e seleção de uma fonte adequada), somado à criatividade e ao raciocínio crítico do indivíduo, um modelo mental inicial é construído (*produção de um modelo mental*).

A segunda fase compreende a **expressão** do modelo em algum dos modos de representação (material, visual, verbal, gestual ou matemático), ou em uma combinação deles. No ensino, diante de uma situação problema, o aluno é solicitado a construir um modelo que possa elucidar o mesmo. Após a elaboração desse modelo mental, ele o expressa de modo a permitir que outras pessoas (como o professor e seus colegas) também possam conhecê-lo. Nesse momento, deve haver uma adequação entre o modelo que a pessoa elaborou em sua mente e o modelo expresso. Na busca dessa adequação, pode ocorrer um ciclo de alterações em ambos (modelo mental e modelo expresso) até o ponto em que um modelo esteja satisfatoriamente de acordo com o outro. Cabe ao professor disponibilizar vários materiais e recursos para a expressão do modelo, de forma a possibilitar ao indivíduo melhores condições de comunicar seu modelo mental. Além disso, o professor não deve limitar a expressão do modelo a alguma forma de representação convencionalizada (a não ser que exista uma convenção representacional para determinado sistema), deixando tal decisão a cargo da criatividade de cada aluno. No ensino de ligações iônicas, o papel do professor foi primordial ao favorecer a discussão dos códigos de representação utilizados por cada grupo de forma a contribuir para que os estudantes entendessem a importância da escolha adequada da forma de expressão de seus modelos (Maia, Queiroz, Mendonça, & Justi, 2007).

Os modelos de cada grupo devem ser socializados para a turma. A relevância disso está relacionada ao próprio fazer científico, contexto no qual os modelos são apresentados à comunidade científica para julgamento, e também ao fato de o modelo de determinado grupo poder influenciar outro grupo a modificar, ou mesmo abandonar, seu modelo inicial (a partir da percepção de incoerências no mesmo após explicações dos colegas). Tendo identificado os diversos modelos produzidos pelos alunos, o professor não deve

simplesmente julgar e sentenciar o certo e o errado em relação ao modelo curricular, mas observar a coerência do modelo à situação-problema. O professor tem papel importante na socialização da aprendizagem ao favorecer a negociação de ideias entre alunos, criando condições para que as coerentes em relação ao modelo curricular sejam expandidas. No ensino de ligação iônica, verificamos que isso ocorreu através da aceitação de determinadas ideias, da introdução de questões sobre tais ideias ou do reforço positivo a questões apresentadas por outros alunos.

A fase 3 corresponde aos **testes** do modelo, que são realizados visando identificar sua adequação em relação aos objetivos para os quais foi proposto. Os testes podem ocorrer de duas formas: a partir de *experimentos empíricos* (seguidos ou antecidos por experimentos mentais) ou apenas a partir da *condução de experimentos mentais*¹⁹. No ensino, cabe ao professor trazer novos elementos que possam se contrapor às incoerências observadas, levando os alunos a testar seus modelos através da condução de experimentos mentais. Se o modelo responder positivamente ao teste (isto é, for capaz de explicar os novos dados) deve-se seguir para a próxima fase; caso contrário, o modelo deverá ser modificado ou até mesmo rejeitado, iniciando-se o processo novamente. O conhecimento envolvido na rejeição de um modelo pode ser utilizado pelo estudante na produção de um novo modelo. É importante que o professor valorize os modelos dos alunos, ao comparar o processo vivenciado por eles com a construção de conhecimentos na ciência.

Na fase de testes, os experimentos empíricos nem sempre são necessários ou possíveis de ser realizados. Isso depende da entidade a ser modelada e da disponibilidade de recursos materiais. Além disso, mais de um teste pode ser realizado, o que está diretamente relacionado à natureza da entidade modelada. Por exemplo, no ensino das ligações iônicas, foram realizados apenas experimentos mentais a partir da análise de dados secundários e foram propostas duas atividades de testes do modelo visando favorecer a discussão de concepções alternativas frequentes entre os alunos (principalmente a ideia de 'NaCl molécula'). Isto aconteceu porque ligação química é um tema de natureza fortemente abstrata, no qual não é possível, em situações escolares regulares, realizar a experimentação para medir a maioria das propriedades físicas dos compostos, mas é possível "rodar" o modelo na mente para explicá-las.

¹⁹ Consistem de situações imaginárias nas quais o aluno deverá aplicar seu modelo – "rodá-lo" na mente (Reiner & Gilbert, 2004) – de modo a perceber sua aplicabilidade ou poder de explicação.

A fase 4 compreende a **avaliação** do modelo. Se na fase de teste o modelo proposto for bem sucedido, pode-se dizer que o objetivo inicial foi atingido. Neste caso, é necessário somente discutir as *abrangências e as limitações do modelo*. No caso das ligações iônicas, após a socialização dos modelos da turma (quando todos os grupos já haviam desenvolvido a ideia de modelo em rede), estabeleceu-se um modelo consensual da turma, que teve sua abrangência ressaltada (isto é, aquilo que ele era capaz de explicar foi destacado). A seguir, a professora apresentou o modelo curricular do NaCl e enfatizou aos alunos que eles não tinham recebido dados para concluir sobre o formato da rede iônica, sendo tal aspecto, portanto, uma limitação do modelo proposto por eles.

Reconhecemos que não é possível descrever todas as ações vivenciadas pelos indivíduos envolvidos na modelagem, visto que seus raciocínios são idiossincráticos. Entretanto, acreditamos que a proposta expressa no diagrama Modelo de Modelagem é capaz de refletir as principais etapas do processo. Também julgamos que esse diagrama reflete bem essa idiossincrasia porque é uma proposta bastante flexível e coerente, devido à dinamicidade evidenciada por suas setas duplas, que demonstram uma sequência não necessariamente linear e tampouco unidirecional.

Há coerência do diagrama com a proposta de Giere (advinda da filosofia da ciência) pela ênfase nos objetivos para proposição do modelo, assim como na verificação das abrangências e limitações do modelo. Deste modo, não se pensa no modelo como verdadeiro ou falso em relação ao mundo. Também se enfatiza a importância dos testes para verificar a adequação dos modelos, o que sinaliza a coerência quanto à visão de experimentação.

A partir da descrição das duas propostas para o processo de modelagem no Ensino de Ciências, percebemos que ambas enfatizam a geração, o teste e a modificação (ou reformulação) de modelos de forma a atender os objetivos para os quais o modelo foi proposto, ou seja, ambas são coerentes entre si. Isto era esperado visto que a proposta de Clement (1989) serviu de subsídio para a elaboração do diagrama Modelo de Modelagem. Na fase de geração, ambas enfatizam a importância das ideias prévias e modelos base para proposição de outros modelos. Entretanto, na proposta de Justi e Gilbert (2002), há destaque para a fase de expressão do modelo mental (em algum dos modos de representação). Nos textos de Clement e colaboradores, destaca-se a importância de elementos visuais e verbais dos modelos para a aprendizagem dos estudantes, o que é

chamado pelos autores de “modelos visuais” (Clement & Rea-Ramirez, 2008, p. 20), mas não há destaque explícito para esse aspecto no diagrama GEM. No diagrama Modelo de Modelagem o entendimento da etapa de avaliação é mais amplo do que o que é concebido por Clement no processo GEM. No primeiro caso, há ênfase no levantamento de abrangências e limitações de um modelo frente ao curricular ou outros possíveis modelos em avaliação e não apenas se um modelo conseguiu responder a um teste. Com relação as ações do professor, há aspectos similares nas duas abordagens: questões para fomentar o desenvolvimento e reformulação do modelo, não sentenciar os modelos em corretos e incorretos, retomada de conhecimentos prévios, etc. Entretanto, um aspecto que fica mais evidente ao seu utilizar o diagrama Modelo de Modelagem no ensino – a valorização do plano social no processo de ensino-aprendizagem, isto é, a aprendizagem é vista como um processo que emerge das interações sociais (Vygotsky, 1978). Portanto, o foco de análise é a comunidade que interage e o contexto no qual as interações ocorrem (Driver, 1989; Nussbaum, 1989).

A partir da descrição do diagrama Modelo de Modelagem, percebe-se coerência do mesmo com os objetivos para o Ensino de Ciências atuais. Com relação às características consensuais sobre natureza da ciência para o Ensino de Ciências (Wong & Hodson, 2010), a utilização do mesmo no ensino favorece a compreensão de que:

- a ciência é uma tentativa (vários modelos produzidos e testados no processo), baseada em dados empíricos, e subjetiva;
- observação é diferente de inferência (conhecimentos expressos nos modelos construídos com base nas experiências com os fenômenos e avaliados pelos dados obtidos na fase de testes);
- a produção do conhecimento científico é uma prática social colaborativa.

A fase de testes constitui-se de boa oportunidade para entendimento dos estudantes sobre o papel da experimentação não como receita a ser seguida, mas como fonte de dados para avaliação de modelos e produção de novos (Erduran, 2001). Com relação ao aprendizado conceitual, tal fase favorece a externalização das concepções alternativas e a ocorrência da mudança conceitual (Jonassen, 2008; Vosniadou, 2002) a partir do momento em que o aluno percebe as discrepâncias do modelo com os dados e o mesmo é modificado de forma consciente a fim de explicá-los (para mais detalhes, ver Mendonça & Justi, 2009b; Mendonça & Justi, 2011).

A escolha do diagrama Modelo de Modelagem como referencial teórico para estruturar o ensino analisado neste trabalho se relaciona ao nosso conhecimento detalhado de todos os seus elementos. Entretanto, reconhecemos que é importante expandir o conhecimento desse diagrama como referencial teórico no que diz respeito ao desenvolvimento da argumentação pelos estudantes, pois as pesquisas desenvolvidas no grupo de pesquisa até então estiveram mais focadas na aprendizagem de conteúdo e no desenvolvimento de habilidades investigativas e da capacidade de visualização. Com o intuito de expandir esse conhecimento, julgamos relevante abordar fundamentos teóricos e metodológicos sobre argumentação com o objetivo de nos proporcionar mais elementos para a discussão das questões de pesquisa e análise de dados. Mas, anteriormente a isso, apresentamos uma seção que discute o papel de modelos no âmbito da Química porque em nosso trabalho há especificidades desses modelos que não vem recebendo tratamento adequado por pesquisadores, uma vez que boa parte das descrições têm se concentrado como campo da Física (Erduran, 2001, 2007).

2.3. UMA VISÃO DE MODELOS NO ÂMBITO DA QUÍMICA

A ideia de que o conhecimento químico se dá em três níveis – macroscópico, submicroscópico e simbólico – pode ser considerada um paradigma da Química e do Ensino de Química (Talanquer, 2010). Essa ideia foi proposta por Johnstone (1982). Neste artigo original:

- O nível *macroscópico* é descritivo e funcional, pois é o nível em que o fenômeno é experienciado, observado e descrito.
- O nível *representacional* é aquele em que signos (químicos e matemáticos) são usados para representar e comunicar conceitos (por exemplo, equações químicas), isto é, o nível simbólico da linguagem.
- O nível *submicroscópico* é aquele que se relaciona às explicações envolvendo átomos, moléculas, íons etc.

O argumento de Johnstone para introdução dos níveis se baseou na observação dos trabalhos dos químicos experientes, que transitavam com facilidade entre esses níveis. No Ensino de Química um dos objetivos é a proposição de atividades que favoreçam ao estudante a articulação entre esses níveis do conhecimento químico, porque isso amplia a compreensão da Química (Garnett, Garnett, & Hackling, 1995; Gilbert, 2008; Russel et al., 1997). Por sua vez, modelos e modelagem são importantíssimos para o aprendizado de

Química porque têm a potencialidade de favorecer a transição entre tais níveis (Erduran, 2001, 2007; Justi & Gilbert, 2003).

A utilização de modelos e modelagem no ensino têm o potencial de favorecer o contato com o nível macroscópico da Química pelas experiências com o alvo necessárias para a construção de modelos e os testes dos mesmos (contato direto com os fenômenos ou dados coletados por outras fontes). O nível explanatório é contemplado a partir do uso, construção e manipulação de modelos que são utilizados para representar, explicar e fazer previsões do mundo experienciado (Talanquer, 2010). Se desejarmos que os estudantes aprendam Química e ampliem suas visões pré-científicas sobre essa ciência, é necessário que sejam propostos modelos para explicar os fenômenos (Garnett et al., 1995). Portanto, a utilização de modelos e modelagem favorece o aprendizado de Química devido às explicações do que ocorre com a matéria em nível submicroscópico, principalmente, quando são utilizados modelos concretos, animações computacionais, desenhos de partículas de forma a favorecer a visualização dos modelos abstratos (Justi, Gilbert, & Ferreira, 2009). Entretanto, cabe destacar que modelos concretos (como bolas e vareta) não têm função apenas de visualização, mas são conceituais (por exemplo, servem para estimar o ângulo de ligação e o tipo de geometria molecular, que são informações importantes para definir a polaridade de uma molécula) (Del Re, 2000). Os signos permeiam todo processo representacional seja dos fenômenos ou dos modelos expressos.

É importante ressaltar um aspecto que diferencia os modelos utilizados na Física daqueles utilizados na Química. No primeiro contexto, os modelos tendem à matematização, no segundo, tendem a ser mais qualitativos (Erduran, 2001). Outra especificidade dos modelos no âmbito da Química é que eles são propostos para explicar as propriedades químicas e físicas da matéria de acordo com certas circunstâncias, sendo que isso se dá a partir do uso de entidades submicroscópicas como átomos, íons, moléculas e elétrons. Portanto, os químicos lidam todo tempo com conceitos que são por natureza modelos (Del Re, 2000; Erduran, 2007; Erduran & Duschl, 2004).

Apesar do campo de filosofia da Química ser bastante recente²⁰, são encontrados relatos na literatura que reforçam as afirmativas sobre a centralidade de modelos na Química, tidos como a forma dominante de pensamento (Justi & Gilbert, 2003). Na história

²⁰ A primeira Conferência Internacional de Filosofia da Química data de 1994. Jornais específicos – Foundations of Chemistry e HYLE – datam de 1999 (Erduran, 2001).

da Química, encontramos vários relatos do uso de modelos pelos químicos, assim como da centralidade deles para o desenvolvimento do conhecimento químico (como enfatizado, por exemplo, nas discussões sobre estruturas moleculares desenvolvidas por Kekulé, van't Hoff, Pauling e Watson e Crick).

2.4. ARGUMENTAÇÃO: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Nos dicionários de Língua Portuguesa, um argumento é definido como um tipo de raciocínio que conduz a uma conclusão, sendo que esse raciocínio é baseado em fatos e em relações lógicas a partir deles; ou como uma disputa verbal, que se baseia em provas ou indícios. A argumentação consiste no ato de argumentar; na reunião de uma série de argumentos que tem como objetivo chegar a uma conclusão e convencer alguém de algo. Os significados apresentados nos dicionários incluem as visões geralmente apresentadas cotidianamente pelas pessoas, pois a argumentação é algo familiar a todos nós, manifestando-se em forma oral ou escrita em nosso cotidiano quando objetivamos defender nossos pontos de vista ou ações nas mais diversas situações. Entretanto, ao analisarmos os trabalhos de teóricos do campo de argumentação, percebemos que as definições apresentadas nos dicionários podem ser ampliadas acarretando em uma melhor visão do que é argumentar.

O estudo contemporâneo da argumentação faz parte de uma abordagem interdisciplinar da qual participam filósofos, linguistas, estudiosos da comunicação, psicólogos etc. Esse campo de estudos recebeu um novo impulso devido à aparição, em 1958, de duas obras, ambas escritas por filósofos, que hoje são consideradas como clássicos da área: “Tratado da Argumentação”, de Chaim Perelman e Lucie Oldbrechts-Tyteca, e “Usos do Argumento”, de Stephen Toulmin.

Nosso foco é estudar a argumentação no contexto do Ensino de Ciências. Entretanto, julgamos relevante, nesta seção, destacar algumas ideias sobre argumentação provenientes dos diferentes campos citados anteriormente, porque elas serão importantes para um melhor entendimento sobre o que é argumentar, como argumentar e quais os objetivos da argumentação em nosso contexto de estudo. Essas ideias também serão úteis na fundamentação do instrumento de análise e na análise dos dados.

A argumentação pode ser pensada de três formas diferentes: *retórica*, *dialética* e *lógica* (Wenzel, 1990). O estudo da retórica, da dialética e da lógica teve origem na Grécia

Antiga devido à emergência do governo democrático, aos ideais de livre comunicação e às questões práticas relacionadas com o que se considerava uma boa argumentação. O trabalho de Aristóteles é o que mais se destaca.

A síntese de Wenzel (1990) nos possibilita entender claramente a principal diferença entre essas formas de pensar na argumentação. Segundo a perspectiva retórica, um bom argumento consiste da produção de discurso (escrito ou falado) que efetivamente auxilia membros de um grupo social a resolver problemas e tomar decisões. De forma geral, o propósito principal da retórica é a persuasão, empregada na escolha entre alternativas que apresentam boas razões em ambos os lados. Na perspectiva dialética, um bom argumento consiste da organização sistemática de uma interação (por exemplo, debate e discussão) com vistas à produção das melhores decisões possíveis. Finalmente, segundo a perspectiva lógica, um bom argumento é constituído de afirmativas suportadas por evidências e razões suficientes e relevantes. Nesse sentido, Wenzel (1990) afirma que a retórica está associada ao *processo* de produção de argumentos; a dialética ao *procedimento* envolvido e a lógica ao argumento enquanto *produto*. Segundo Wenzel (1990), as teorias que foram desenvolvidas para cada perspectiva se relacionam com os interesses para os quais cada uma se dirige.

Com relação à lógica, há uma distinção entre *lógica formal* e *lógica informal*, que está diretamente relacionada com a forma como se pensa sobre a relação entre o conhecimento e a verdade. A lógica formal tem como intuito criar meios de garantir que nosso pensamento proceda corretamente a fim de chegar a conhecimentos verdadeiros. No trabalho de Aristóteles, os argumentos demonstrativos (aqueles designados a se chegar a uma certeza absoluta) foram estudados no domínio da lógica²¹ formal a partir de raciocínios silogísticos²² dedutivos e indutivos. Na lógica formal, a validade dos argumentos depende apenas do formato das afirmativas (as premissas precedem a conclusão, que é uma consequência das mesmas).

A lógica informal tem como intuito desenvolver procedimentos para análise, interpretação, avaliação, crítica e construção da argumentação no discurso cotidiano. No prefácio da edição de 2003 do livro “Os usos do Argumento”, Toulmin afirma que sua intenção original ao escrevê-lo, em 1958, era criticar a suposição de muitos filósofos anglo-

²¹ Na literatura, pode-se encontrar o termo ‘analítica’ ao invés de ‘lógica’.

²² Um exemplo clássico de silogismo é: *Sócrates é homem; todos os homens são mortais; logo, Sócrates é mortal.*

americanos de que qualquer argumento significativo deveria ser expresso em terminações formais. Toulmin alertou contra os riscos desse tipo de raciocínio, devido à pretensão de se basear em universalidades que nem sempre se encontram presentes na proposição maior ou geral. De fato, a partir desse livro, Toulmin rompeu com o campo tradicional da lógica formal e se focou no estudo de como as pessoas argumentam em situações corriqueiras.

Assim como Toulmin, Perelman, em 1958 (Perelman & Olbrechts-Tyteca, 2002), também buscou combater a argumentação no domínio da lógica formal ao resgatar a retórica. A queda de prestígio da retórica foi agravada com as tendências empiristas e racionalistas acerca de como o conhecimento evolui. Esse distanciamento pode ser entendido pelo fato de a retórica só fazer sentido quando há dúvida em relação a uma determinada conclusão, não se ocupando daquilo que é certo e incontroverso, mas somente de problemas cuja solução não pode ser fornecida nem pela experiência, nem pela dedução lógica, pois seu domínio é a verossimilhança/plausibilidade. Perelman também tentou romper com as associações anteriores de retórica relacionada a palavras traiçoeiras e discurso vazio de conteúdo:

“Há necessidade urgente de uma teoria de argumentação que descreva a maneira como a argumentação ocorre, de forma complementar à lógica. Essa teoria deve lidar com disputas que envolvem valores, que não podem ser resolvidas por verificação empírica ou provas formais e nem pela combinação de ambos. A teoria deverá mostrar como escolhas e decisões são tomadas através de justificativas por motivos racionais” (por van Eemeren et al. (1996, p. 95), ao analisarem o trabalho de Perelman).

Toulmin (1958) define *argumento* como sendo *uma afirmativa acompanhada de sua justificativa* e propõe um esquema que apresenta os elementos constitutivos de um argumento e suas relações (figura 2.8).

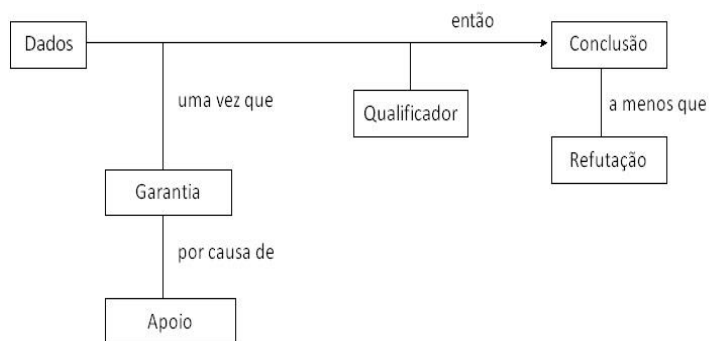


Figura 2.8. Componentes do argumento e suas relações segundo Toulmin (1958, p. 148).

Segundo este esquema, um argumento é constituído por seis componentes:

- *Dados*: evidências que suportam uma afirmativa.
- *Conclusão*: afirmativa cujo mérito deverá ser estabelecido.
- *Garantia*: afirmativa que justifica as conexões entre dados e conclusão.
- *Apoio*: afirmativa que justifica a garantia.
- *Qualificador modal*: elemento que qualifica a conclusão em função da ponderação entre os elementos justificatórios e de refutação.
- *Refutação*: especifica em que condições a garantia não é válida para dar suporte à conclusão.

Toulmin salienta a existência de termos *campo-dependentes* e *campo-independentes* do argumento. Os últimos estão evidenciados na figura 2.8. Esses elementos, ou, pelo menos, os três primeiros, devem ser buscados em todos os contextos, sendo importantes para caracterizar um argumento sólido. O termo campo-dependente se relaciona à diferença de aceitabilidade dos elementos dispostos na figura 2.8 em diferentes contextos. Por exemplo, uma garantia pode ser considerada uma justificativa satisfatória num contexto, mas insatisfatória em outro.

Segundo van Eemeren e colaboradores (1996), há várias diferenças entre as ideias da lógica formal e da lógica informal de Toulmin:

- Na lógica formal, argumentos analíticos ou demonstrativos são considerados como constituídos por afirmativas verdadeiras. Para Toulmin, o propósito de um argumento é estabelecer conclusões sobre as quais não estamos inteiramente confiantes, relacionando-as com outras informações sobre as quais temos mais convicção. Portanto, parece pouco provável a existência de argumento analítico, o que pode ser corroborado pela presença de elementos qualificadores no padrão de Toulmin (presumivelmente, possivelmente, provavelmente etc.).
- O critério para julgamento da validade dos argumentos na lógica formal é universal. Segundo Toulmin, os critérios são não universais, por isso a criação de termos campo-dependentes.

As ideias de Toulmin e Perelman influenciaram fortemente o campo da argumentação de forma geral e no Ensino de Ciências, em específico (Bell & Linn, 2002; Capecchi & Carvalho, 2000; Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez, & Duschl, 2000; Konstantinidou, Cerveró, & Castells, 2010; Nascimento & Vieira, 2008; Sá & Queiroz, 2007).

A seguir apresentamos ideias mais contemporâneas a respeito de argumento e argumentação.

De acordo com van Eemeren et al. (1996), argumentação é uma atividade *verbal*. Entretanto, esses autores reconhecem a combinação e importância de meios verbais e não verbais de comunicação (por exemplo, expressões faciais e gestos) numa argumentação, desde que os últimos complementem o significado das ações verbais e sejam compreensíveis para os ouvintes e leitores.

van Eemeren et al. (1996) concebem a argumentação como sendo uma atividade *social*, que a princípio é dirigida a outra pessoa. Segundo esses autores, a natureza social do argumento se torna mais evidente quando duas ou mais pessoas estão discutindo. Todavia, quando uma pessoa faz uma ponderação entre prós e contras de suas próprias ideias, a condução do ato de pensamento tem caráter social, pois a pessoa poderia prever reações de possíveis interlocutores (reações que a princípio são da pessoa, mas que poderiam ser compartilhadas por outros). Kuhn (1991) também defende esta perspectiva ao retomar as ideias do filósofo Protágoras (analisadas criticamente no trabalho de Billig, 1987), que atribuía ao termo argumento um aspecto social e individual, e reconhecia a potencialidade do argumento social para desenvolver o argumento individual. Ela reconstrói essas ideias ao afirmar que um raciocínio individual em que se constrói uma afirmativa acompanhada de justificativa e no qual são analisadas posições adversas pode ser considerado um argumento porque ele implicitamente contém um processo dialógico. Para Kuhn, os aspectos social (denominado por ela de dialógico) e individual (denominado por ela de retórico) do argumento se encontram intimamente conectados:

“O processo dialógico no qual duas ou mais pessoas se engajam em debate sobre posições opostas pode ser referido como argumentação ou discurso argumentativo em distinção a argumento como um produto (um indivíduo constrói um argumento para dar suporte a um ponto de vista). Entretanto, um argumento como produto é construído implicitamente a partir de uma conclusão baseada em uma estrutura de evidências e contra-argumentos que caracterizam um discurso argumentativo”. (Kuhn & Franklin, 2006, p. 979, apud Garcia-Mila & Andersen, 2008, p. 32).

van Eemeren et al. (1996) e Kuhn (1991) chamam atenção para o fato de a argumentação ser uma atividade *intellectual*, isto é, baseada no ato de pensar, sendo uma ação consciente e intencional.

van Eemeren et al. (1996) e Billig (1987) concordam quanto à necessidade de *pontos de vista controversos* para ocorrência de argumentação. De acordo com Billig (1987), em uma conversa em que todos concordam uns com os outros, seria impossível o aparecimento de argumentação. Esses autores explicitam que o propósito da argumentação é *justificar* uma opinião ou *refutar* um ponto de vista oposto a partir de um conjunto de *pro-argumentos* (razões a favor) e *contra-argumentos* (razões contra). Para eles, a argumentação tem como finalidade *aumentar (ou diminuir) a aceitabilidade* de um ponto de vista controverso a partir de justificativas que visam o convencimento de uma audiência²³. Por sua vez, a audiência tem o papel de concluir sobre um ponto de vista particular a partir de *julgamento racional*, que se relaciona à avaliação da solidez dos argumentos no contexto da discussão. Entretanto, é válido ressaltar, a partir do trabalho de Billig (1987), a necessidade de *certo grau de simetria entre os interlocutores*. Segundo Viera e Nascimento (2009), em situações em que há grande assimetria entre interlocutores (como, por exemplo, em salas de aula tradicionais), a atitude de um deles (aluno) seria a de aceitar a afirmação daquele agente supostamente superior (professor), acarretando em um discurso de autoridade.

Segundo Brockriede (1991), a argumentação geralmente se manifesta na discussão de problemas que não podem ser resolvidos mediante demonstrações e deduções. Pelo contrário, ela se relaciona a situações em que devem ser tomadas as melhores decisões a partir de posicionamentos, justificativas e refutações. A partir de uma síntese do ensaio de Brockriede (1991), é possível dizer que encontramos argumentação em situações de inferência ou racionalidade que guia inferência; escolha entre duas ou mais afirmações; incerteza e desejo de correr o risco de confronto. Zarefsky (van Eemeren et al., 1996) apresenta ideias similares as de Brockriede (1991) ao definir argumentação como prática de justificar decisões sob condições de incerteza, sendo que justificativa é diferente de prova definitiva, isto é, verdade absoluta.

Ao discutir possibilidades de situações argumentativas, Baker (2009) esquematiza e amplia as ideias apresentadas nos parágrafos anteriores (figura 2.9).

²³ O próprio sujeito, um interlocutor ou uma variedade de pessoas.

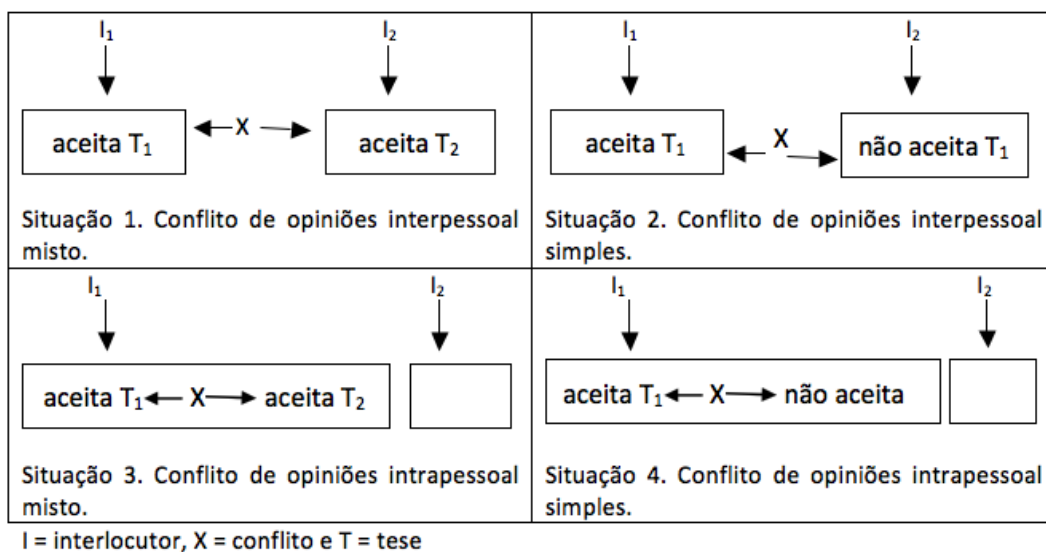


Figura 2.9. Quatro possibilidades de situações argumentativas segundo Baker (2009, p. 131).

Na situação 1, o interlocutor 1 aceita a tese 1 e discorda da tese 2, enquanto o interlocutor 2 aceita a tese 2 e discorda da tese 1. Na situação 2, o interlocutor 1 aceita a tese 1, enquanto o interlocutor 2 não a aceita, mas não apresenta outro ponto de vista. Nessas situações, os interlocutores devem oferecer argumentos favoráveis a seus pontos de vista e refutações aos pontos de vista contrários com o objetivo de convencimento. Nas situações 3 e 4, apenas um dos interlocutores expressa uma solução divergente, enquanto o outro interlocutor tenta auxiliá-lo a tomar a melhor decisão. As situações 3 e 4 poderiam ocorrer apenas na mente do indivíduo que apresenta dúvidas (argumento individual ou retórico), mas, segundo Baker, há determinados tipos de problemas que são difíceis de ser resolvidos sem cooperação. Portanto, nas situações 3 e 4, a interação com o outro (argumento social) possibilitaria a tomada de decisões.

Considerando o exposto anteriormente, é possível sintetizar que a argumentação está presente em situações de interações sociais em que existem conflitos, possíveis resoluções e construção de consenso. Ela envolve racionalidade nas justificativas e refutações a pontos de vista. A racionalidade está ligada à solidez do argumento de acordo com critérios estabelecidos pelo campo da lógica. Por sua vez, o argumento consiste de afirmativa suportada por evidência(s) e razão(ões) suficientes e relevantes (Voss & van Dyke, 2001) que varia(m) entre contextos e envolve(m) persuasão (convencimento). Essas ideias são bastante coerentes com as apresentadas na seção 2.1. desta tese, o que demonstra

correlação entre as noções contemporâneas de argumentação e a visão de ciência baseada em modelos.

2.5. ARGUMENTAR PARA APRENDER E APRENDER A ARGUMENTAR: VISÕES DA PSICOLOGIA

Existem duas vertentes relacionadas à argumentação e aprendizagem: ***aprender a argumentar*** e ***argumentar para aprender*** (Schwarz, 2009). Aprender a argumentar é um campo de pesquisas da argumentação que se preocupa em estudar como as pessoas melhoram a qualidade de seus argumentos. O foco das pesquisas é investigar a aquisição de habilidades de argumentação. Argumentar para aprender se refere ao uso da argumentação e dos argumentos para proporcionar entendimento, esclarecimento de dúvidas, decisões, resoluções de conflitos e ampliar conhecimento. Schwarz (2009) afirma que essas vertentes são interdependentes. Para o autor, numa situação de sala de aula, elas estão relacionadas e a distinção entre elas só faz sentido para fins de pesquisa.

O trabalho de Kuhn (1991) é um marco nos estudos sobre aprender a argumentar e influenciou as pesquisas em Ensino de Ciências (Chin & Osborne, 2010; Osborne, Erduran, & Simon, 2004a; Zohar & Nemet, 2002). No livro *“The Skills of Argument”*, a autora relata a condução de um estudo com 160 pessoas de diferentes idades (adolescentes, adultos nas faixas de 20 anos, 40 anos e 60 anos) e graus de escolaridade (educação básica ou ensino universitário) a respeito de problemas sociais urbanos: o que leva o retorno ao crime, o que causa o fracasso escolar, e quais as causas do desemprego. Nas entrevistas realizadas por Kuhn, as questões solicitavam dos sujeitos a explicitação das causas do problema social e o fornecimento de evidências que comprovassem a causa suposta. A seguir, os sujeitos foram convidados a gerar uma teoria diferente da inicial. Eles foram solicitados a pensar numa forma de falsificar a própria teoria e apresentar evidências que falsificassem o ponto de vista de outra pessoa. Os sujeitos também foram solicitados a analisar evidências e a relação delas com as teorias pessoais apresentadas inicialmente.

A partir dos dados obtidos nas entrevistas, Kuhn analisou as seguintes habilidades²⁴ argumentativas:

²⁴ Aqui citamos as habilidades investigadas pela autora, apesar de ela não expor claramente no livro o que pensa ser uma habilidade.

- *Formular argumento*: nos termos da autora, gerar teoria causal subsidiada por evidências genuínas. Não há uma única forma de responder aos problemas propostos por Kuhn, devido à complexidade dos mesmos. Por esse motivo, a evidência genuína seria aquela não conclusiva, distinguível da teoria causal e coerente com ela. Ela a distingue de pseudoevidência, que pode ser entendida como relato de cenário em que o evento ocorre.
- *Formular teoria alternativa*: propor um ponto de vista diferente do inicial, subsidiado por alguma evidência genuína.
- *Formular contra-argumento*: pensar num argumento que inclua uma evidência genuína que invalide a teoria causal inicial.
- *Refutar*: para Kuhn essa é a habilidade mais complexa e pode ocorrer de três formas. A primeira delas é mais simples: ocorre quando o sujeito apenas combate a teoria alternativa. Nas formas mais complexas, o sujeito combate a teoria alternativa e mostra porque sua teoria causal inicial é mais válida, ou o sujeito combate o contra-argumento gerado por ele e mostra porque sua teoria causal é mais válida. Essas duas formas são chamadas de integradoras, pelo fato de o sujeito ter que retomar linhas prévias de raciocínio (o que justifica a maior complexidade).
- *Analisar evidências*: examinar se determinadas teorias são válidas a partir da análise de evidências ou pseudoevidências.

A partir da análise, Kuhn constatou: (i) grande dificuldade dos sujeitos em gerar evidências para dar suporte a suas teorias (apenas 16% geraram evidências genuínas para os três tópicos); (ii) que apenas 33% dos sujeitos foram capazes de propor teoria alternativa e contra-argumento para os três tópicos e (iii) que apenas 21 a 32% (variação entre os tópicos) dos entrevistados conseguiram propor refutações integradoras. Adolescentes tiveram melhor performance em comparação a pessoas com menor nível educacional de outras idades. Entretanto, aqueles mais velhos, mas com maior escolaridade, se sobressaíram. De forma geral, ela percebeu que as pessoas com maior nível educacional foram aquelas que tiveram melhor desempenho. Ela não constatou diferença de desempenho com relação ao fator sexo, mas percebeu relações entre a visão epistemológica do sujeito e a capacidade de argumentar. Para Kuhn, apenas se o conhecimento é visto como produto de um contínuo processo de julgamento, exame, comparação e avaliação de explicações que competem entre si é que o argumento se torna um fundamento para o raciocínio. Para ela, os sujeitos que acreditam no conhecimento como sendo absoluto não estão aptos a argumentar, ou, se

percebem o conhecimento como crenças subjetivas livres, apresentam pequena razão ou valor para argumentar.

Kuhn percebeu certa independência entre conhecimento e argumentação, isto é, em vários casos, pessoas que conseguiram, por exemplo, contra-argumentar, o fizeram para todos os tópicos. Ao analisar as entrevistas de especialistas em cada um dos assuntos discutidos (por exemplo, um professor ao discutir sobre causas do fracasso escolar), ela não observou melhor desempenho deles. Mas, ao analisar a entrevista de um filósofo, ela percebeu que ele raciocinou igualmente bem em todos os tópicos. Entretanto, a dicotomia *conhecimento X qualidade do argumento* (isto é, se as habilidades são independentes do conhecimento do tópico discutido) é um tema polêmico na literatura (mais detalhes sobre essa dicotomia são apresentados na discussão sobre a argumentação no Ensino de Ciências, seção 2.6).

De forma geral, as pesquisas sobre argumentação no campo da psicologia, no que tange a aprender a argumentar, trazem como recomendações para a educação a necessidade de se pensar em contextos de instrução específicos e intensivos para o desenvolvimento de habilidades argumentativas, visto que a propensão para o desenvolvimento delas ocorre desde cedo e que as pessoas trazem padrões de raciocínio argumentativo para a escola, mas que é necessário aprofundá-los. Schwarz (2009) afirma que instruções que visam o desenvolvimento do pensamento crítico do indivíduo devem enfatizar o desenvolvimento das habilidades argumentativas, uma vez que essa é a forma primordial de raciocínio humano (Billig, 1987; Voss & van Dyke, 2001).

Com relação à vertente argumentar para aprender, as pesquisas se focam nos ganhos cognitivos da argumentação individual e social. No primeiro caso, a ponderação das perspectivas alternativas na mente do indivíduo pode levar a uma melhor aprendizagem. No segundo caso, os participantes são forçados a adquirir novas informações sobre o tópico em discussão, pois são expostos a uma multiplicidade de ideias e encorajados a explorá-las com o intuito de verificar a validade de cada uma. Isso significa que eles são obrigados a considerar as objeções às suas teorias pessoais, entender posições alternativas e formular objeções. Para Kuhn (1991), ambas formas de argumentação podem acarretar em ganhos em termos de aprendizagem, pois ao refutar o indivíduo pode compreender melhor um conceito por entender porque o outro não é satisfatório.

Quando se estuda a aprendizagem individual a partir de processos de produção de conhecimento social por meio de argumentação, torna-se necessário recorrer à ideia de Vygotsky sobre internalização das interações sociais (Schwarz, 2009). A aprendizagem é, geralmente, evidenciada a partir da produção de textos escritos (por exemplo, Garcia & Valeiras, 2010; Kelly, Regev, & Prothero, 2008; Kelly & Takao, 2002; Márquez Bargalló & Prat, 2010), no qual parece ser mais fácil examinar a mudança de ponto de vista ou atitude, os componentes do argumento e o nível argumentativo do texto. Quando o foco é a aprendizagem social por meio da argumentação, geralmente estuda-se a resolução colaborativa de problemas (por exemplo, Chin & Osborne, 2010; Kelly, Druker, & Chen, 1998; Tavares, Jiménez-Aleixandre, & Mortimer, 2010). Nesse caso, subentende-se a argumentação como parte de um todo: o convite do professor para o engajamento do estudante, a análise dos pontos de vista dos colegas, a negociação de significados etc. Para Schwarz (2009), analisar apenas o produto final de uma instrução visando aprendizagem via argumentação é algo problemático. Para o autor, é necessário analisar também o processo para compreender os resultados finais.

As pesquisas sobre argumentar para aprender têm contribuído para a educação a partir de recomendações sobre como estruturar estratégias de ensino que visem uma aprendizagem significativa a partir da argumentação. De forma geral, as recomendações se relacionam a propiciar ao estudante a resolução de problemas autênticos; levantar alternativas divergentes para a resolução de problemas; promover práticas epistêmicas; organizar o trabalho em grupos colaborativos de forma a favorecer a co-construção do conhecimento; proporcionar reflexões metacognitivas e metaconceituais (Garcia-Mila & Andersen, 2008).

2.6. ARGUMENTAÇÃO NA CIÊNCIA E NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Segundo Caamaño (2010), no Ensino de Ciências a argumentação pode servir para favorecer a *educação científica*, que tem relação com o aprendizado de conceitos científicos, a escolha de modelos e teorias rivais e uma melhor noção sobre natureza da ciência, assim como a *educação cidadã*, que tem relação com o uso de questões sócio-científicas em sala de aula (em debates ou desempenho de papéis sobre questões ambientais, entre outros temas interdisciplinares). Nessa revisão, nosso foco será na argumentação para a ***educação científica*** em virtude do foco da pesquisa apresentada nesta tese.

Com relação à inserção da argumentação no currículo de ciências visando a educação científica, inicialmente discutimos o ***papel da argumentação na comunidade científica*** (Driver, Newton, & Osborne, 2000; Duschl & Osborne, 2002; Osborne et al., 2004a; Sandoval & Millwood, 2008) e a relação com a aprendizagem sobre ciência e o fazer científico. Como comentado na seção 2.1, as perspectivas contemporâneas em filosofia da ciência enfatizam que o conhecimento científico não é simplesmente acúmulo de dados acerca do mundo, mas envolve a construção de modelos e teorias que se ajustam aos fenômenos e dados – situação em que a argumentação é inerente para demonstrar a adequação de modelos e teorias (como discutido na seção 2.1). Os construtos gerados estão abertos à discussão e refutações. Na opinião de Osborne et al. (2004a), são essas situações controversas, nas quais a argumentação é inerente, que favorecem o avanço da ciência, ou seja, a ciência cresce mais pelo conflito do que pelo acordo.

Os estudos de sociologia da ciência (Latour, 2000; Latour & Woolgar, 1997) trazem contribuições para nos auxiliar a compreender a dinâmica da construção dos fatos científicos como uma atividade social, em que a argumentação se faz presente em vários momentos porque os cientistas não “descobrem verdades” a partir da observação da natureza não guiada por perspectivas teóricas. Ao contrário, eles fazem uso de argumentação na avaliação de perspectivas alternativas que poderiam explicar o fenômeno; ao discutir com o grupo de pesquisa sobre as linhas de raciocínio empregadas e ao convencer os pares sobre a possível “verdade” proposta a partir de teorizações e modelos produzidos para explicar as observações da natureza.

Latour e Woolgar (1997) denominam *inscrição* um registro sintético de informações e conhecimentos produzidos em um laboratório de pesquisa. Tal registro pode se apresentar na forma de gráficos, histogramas, fluxogramas, espectros, enfim, tudo o que os aparelhos inscrites (empregados em um laboratório na execução de processos e realização de medidas) fornecem como resultado de investigações. Assim, para esses autores, a produção dos artigos científicos gira em torno das inscrições, que são devidamente selecionadas pelos pesquisadores num processo em que a argumentação se faz presente (ver figura 2.10 a seguir). Dessa forma, a argumentação do pesquisador depende efetivamente da inscrição, uma vez que não seria possível afirmar algo sem a presença de dados subsidiários. Produzido o artigo, ele é submetido a algum periódico para publicação. O ato de publicar é uma prática valorizada pela comunidade científica, pois é assim que os enunciados produzidos por um cientista ou por um grupo de pesquisa são compartilhados por membros

da comunidade científica. O texto do artigo apresentará, em muitos momentos, o gênero argumentativo, uma vez que ele se destina à discussão com a comunidade, que poderá compartilhar as ideias, possivelmente transformando-as em conhecimentos científicos (quando vários pesquisadores concordam com um ponto de vista expresso no artigo). Mesmo quando o artigo é criticado negativamente, o pesquisador pode continuar na arena argumentativa e defender seu ponto de vista ao propor correções ou outras interpretações e ao admitir equívocos.

Os estudos sobre natureza da ciência conduzidos por pesquisadores da área de Ensino de Ciências também nos ajudam a compreender o papel da argumentação na comunidade científica. Num estudo mais recente, Wong e Hodson (2010) investigaram as opiniões de cientistas de áreas de grande ascensão atualmente (biologia molecular, física de partículas, astrofísica), através de questionários e entrevistas, sobre alguns aspectos de natureza da ciência. Nesse artigo, o destaque são os aspectos sociais da prática científica. Os resultados demonstraram como a argumentação é algo inerente ao trabalho da comunidade científica e o entendimento dela não apenas como uma competição, mas um processo de colaboração porque as argumentações sobre méritos de conhecimentos rivais são importantes para dar credibilidade e confiabilidade aos conhecimentos gerados na comunidade. Wong e Hodson comentam sobre a importância de estudantes terem noções da ciência como prática social para uma visão mais ampla e menos ingênua sobre ciência (por exemplo, cientista isolado (Cachapuz, Gil-Perez, Carvalho, Praia, & Vilches, 2005)). Segundo alguns pesquisadores (Abi-El-Mona & Abd-El-Khalick, 2011; Driver et al., 2000; Duschl & Osborne, 2002; Sandoval, 2005), noções mais amplas sobre ciências podem ser atingidas através de atividades que favoreçam a investigação e argumentação científica, assim como a discussão de textos científicos.

A argumentação científica pode ser compreendida como um processo social de justificativa de conclusões, que se dá a partir da coordenação de dados e teorias científicas (Erduran & Yan, 2010; Solbes, Ruiz, & Furió, 2010), sendo que a avaliação do conhecimento é seu aspecto central (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008; Jiménez-Aleixandre & Puig Mauriz, 2010). A argumentação sobre modelos explicativos pode ser entendida como comparação da capacidade explicativa de distintos modelos que competem entre si ao explicar fenômenos (Jiménez-Aleixandre, 2010; Jiménez-Aleixandre & Puig Mauriz, 2010).

Um aspecto essencial da argumentação científica é a seleção de evidências a partir de dados. Segundo Germann e Aran:

“Prover evidência consiste na identificação e descrição de tendências específicas nos dados que substanciam as relações atuais e descrevem como essas tendências tendem a suportar ou não uma hipótese”. (1996, p. 795)

Bravo Torija, Puig Mauriz e Jiménez-Aleixandre (2009) classificam as evidências em empíricas e teóricas (por exemplo, avaliação de enunciados em contextos fora de laboratório) e enfatizam que a função das mesmas é apoiar uma conclusão.

Duschl e Ellenbogen (2009) apresentam um esquema para o processo de transformação de dados (figura 2.10), que tem origem nos estudos sobre ciência e ciência cognitiva.

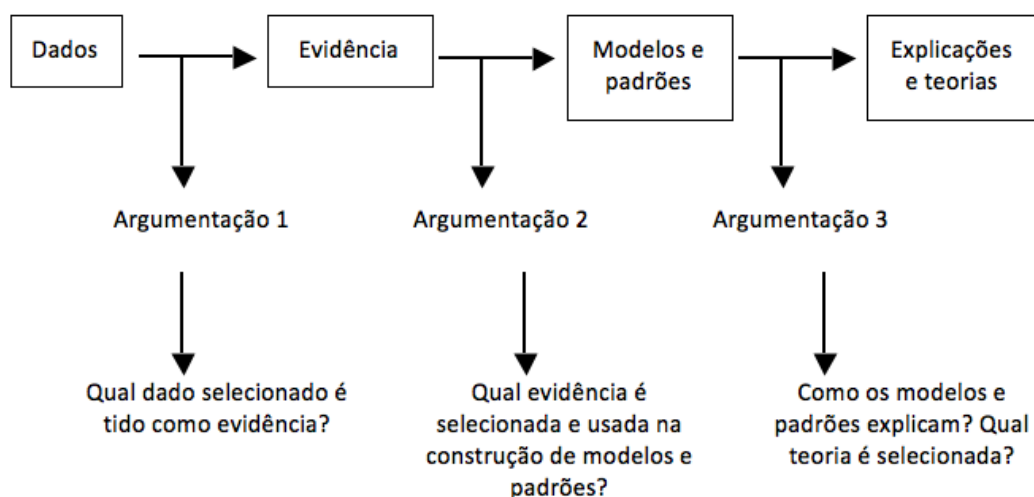


Figura 2.10. Transformações de dados e pontos de tomada de decisões segundo Duschl e Ellenbogen (2009, p. 112).

A figura 2.10 mostra que o processo de escolha de teorias e modelos rivais envolve três etapas argumentativas: a seleção dos dados que serão utilizados como evidências no argumento, o uso das evidências na construção de modelos concorrentes, a seleção de modelos ou teorias e como o modelo ou teoria selecionado(a) explica melhor o fenômeno analisado em relação a(o) concorrente.

A partir das ideias apresentadas nos últimos parágrafos julgamos que seja relevante distinguir explicação e argumento científica(o) e especificar suas relações. Consideramos que uma explicação é uma tentativa de tornar algo claro e inteligível a outras pessoas, sendo

que aquilo que é o alvo da explicação não pode ser algo duvidoso. Geralmente, uma explicação está relacionada a uma pergunta que remete à causalidade (exemplo: por que a massa se conserva em reações químicas?). Muitas confusões entre explicação e argumento surgem porque o último é essencial no processo de justificativa da validade da primeira, pois é possível a existência de mais de uma explicação para um determinado fenômeno. Em outras palavras, argumentos potencializam afirmar se a explicação A é mais (in)satisfatória do que a explicação B. Convém destacar, para os fins de pesquisa desta tese, que o processo de construção de explicações é distinto de explicações bem estabelecidas. Algumas explicações são inicialmente hipóteses explanatórias. Elas são testadas em relação a outras possíveis. O status epistemológico de explicação é adquirido após resistência a vários argumentos que tinham objetivo de demonstrar sua invalidez (Osborne & Patterson, 2011). No caso da modelagem, pode haver a existência de modelos concorrentes para um mesmo fenômeno. A escolha dos modelos se dará a partir de argumentos prós e contras. A partir da seleção do modelo será possível seu uso na construção de explicações. Pode ser que modelos rivais tenham sido pensados por um único sujeito (situação 3, figura 2.9) ou sejam apresentados por diferentes sujeitos (situação 1, figura 2.9) envolvidos na modelagem e, que estes reflitam sobre a viabilidade de cada um. Mas, pode haver situações em que é proposto um único modelo por um sujeito (situação 2, figura 2.9) ou mais de um sujeito (situação 4, figura 2.9). Entretanto, considera-se que este seja duvidoso, uma vez que a modelagem é um processo de construção de conhecimentos, portanto, o mesmo não é consensual. Logo, é possível afirmar que a convicção sobre o modelo só será possível a partir do momento em que ele passar por vários testes (Giere, 2001).

Após a caracterização do argumento e da explicação no contexto científico, destacamos brevemente algumas pesquisas que investigaram a relação da argumentação com o aprendizado sobre ciência.

Os estudos das ideias epistemológicas dos estudantes sobre ciência a partir de investigações sobre como os mesmos constroem argumentos científicos é recente (Sandoval & Millwood, 2008). Sandoval e Millwood são pesquisadores que têm se preocupado intensamente em investigar as relações entre argumentação e natureza da ciência. De acordo com esses autores, a melhor forma de investigar essa relação é analisar as ideias epistemológicas dos estudantes quando eles estão envolvidos no aprendizado e na reflexão sobre esse aprendizado (o que eles denominam epistemologia prática). De acordo com os autores, a argumentação é uma das práticas que favorece a externalização das crenças

epistemológicas dos sujeitos. Para eles, em concordância com outros autores (por exemplo, Duschl & Osborne, 2002; Kelly & Takao, 2002), é fundamental identificar os critérios para produção de argumentos e as razões que os estudantes atribuem para o ato de argumentar em textos e salas de aula de ciências, pois a partir disso torna-se possível compreender as crenças dos estudantes sobre o papel de justificativas e evidências na ciência. Por exemplo, quando Sandoval e Millwood (2008) questionaram estudantes sobre o critério de certeza de uma afirmativa particular ou sobre a melhor forma de persuadir alguém sobre um tema no campo da ciência, a maior parte da amostra pesquisada apelou para o uso de dados empíricos. Na concepção dos autores, o apelo a esse tipo de justificativa seria um tipo de raciocínio legitimado, mas, por outro lado, os alunos não conseguiram mostrar as contribuições específicas de dados particulares no caso analisado. Em outros termos, para os estudantes, é como se os dados falassem por si mesmos, sem preocupação em mostrar como eles legitimam uma conclusão. Esses pesquisadores também perceberam que os estudantes pesquisados julgavam que as evidências são desnecessárias na formulação de conclusões porque, em geral, não há demanda retórica para levantamento de evidências, uma vez que, para eles, os professores já conhecem a “resposta correta” e eles, estudantes, devem apenas fornecê-la, ao invés de entender suas bases (uma vez que no ensino não é usual a solicitação para explicitar claramente as linhas de raciocínio que levam até uma conclusão) (Caamaño, 2010).

O estudo realizado por Sandoval e Millwood demonstra que os trabalhos realizados nas escolas não são compatíveis com o que os cientistas fazem. Nesse sentido, os autores enfatizam a necessidade de planejar estratégias de argumentação eficazes e de investigar os artefatos produzidos pelos estudantes durante as aulas, principalmente questionando-os sobre os critérios de seus argumentos. A pesquisa de Berland e Reiser (2009) corrobora a falta de preocupação dos estudantes quanto ao fator persuasão nos argumentos como consequência do tipo de ensino (discurso de autoridade do professor, ênfase no conhecimento científico ao invés de discutir os processos da ciência e como se chegou a determinado conhecimento em relação a outros possíveis e o não entendimento da ciência como prática social em que o elemento persuasão se faz presente). Duschl e Ellenbogen (2009) também afirmam sobre a necessidade de dar suporte aos estudantes quanto ao entendimento da argumentação científica a partir dos dados obtidos na pesquisa com estudantes de ciências dos Estados Unidos, que fizeram confusão ao diferenciar explicações

de evidências, em concordância com os trabalhos de Kuhn (1991, 1993) sobre as dificuldades dos sujeitos diferenciarem teorias causais de evidências genuínas.

Com relação ao uso de evidências, Zeidler (1997) e Chinn e Brewer (1998) investigaram como estudantes lidam com dados anômalos, isto é, aqueles que foram propostos com o objetivo de levá-los a refletir sobre a adequação com a teoria prévia. De forma geral, eles constataram que estudantes apresentam dificuldade de distinguir dados e teorias. Quando são solicitados a refletir sobre suas teorias prévias a partir de dados, em geral, estudantes tendem a (i) ignorá-los; (ii) rejeitá-los; (iii) demonstrar incerteza sobre a validade dos mesmos; (iv) excluí-los do domínio das suas teorias prévias; (v) deixá-los em suspensão; (vi) reinterpretá-los; (vii) aceitá-los de forma a propor modificações periféricas em suas teorias prévias e (viii) aceitá-los de forma a resultar em mudança conceitual. Segundo os autores, o conhecimento da forma como estudantes lidam com evidências pode fornecer aos professores indícios sobre como trabalhar com dados anômalos no ensino de ciências de forma a contribuir para o desenvolvimento do raciocínio científico e mudança conceitual.

Ainda sobre evidências, há alguns estudos (por exemplo, Hug & McNeill, 2008) que investigam como estudantes lidam com dados primários e secundários. Dados primários são aqueles diretamente coletados pelos estudantes. Dados secundários são aqueles que foram coletados por outros ou apresentados por diferentes fontes. Ambos são importantes para o desenvolvimento do raciocínio científico do estudante (Jiménez-Aleixandre, 2010; Kelly et al., 1998).

Com relação aos dados primários, Kanari e Millar (2004) encontraram que, quando os estudantes coletam seus próprios dados, eles os analisam mais facilmente quando duas variáveis demonstram claramente a existência de covariação entre elas (“quanto mais aumenta um valor, mais o outro aumenta”). Ainda segundo esses autores, o mesmo não pode ser afirmado quando não há tendências de covariação. Na pesquisa conduzida por Hug e McNeill (2008), os dados primários foram importantes para auxiliar os estudantes a compreender as origens dos dados, enquanto que os secundários foram, geralmente, encarados como autoritários. Nesta pesquisa, os dados secundários permitiram aos estudantes a manipulação e identificação de padrões que seriam complexos de concluir a partir de dados primários. Nesse estudo, Hug e McNeill (2008) perceberam que os estudantes estabeleceram conclusões com as devidas justificativas utilizando dados primários e secundários. Entretanto, elas ressaltaram que, apesar de ter ocorrido maior

número de discussões envolvendo dados secundários, as que envolveram dados primários conduziram a conclusões de melhor qualidade, por exemplo, mais próximas do conhecimento científico. De acordo com Palincsar e Magnusson (2001, apud Hug & McNeill, 2008), os estudantes apresentam dificuldades em raciocinar com dados secundários, sendo necessário maior suporte, devido à maior complexidade das discussões. Para Kerlin, McDonald e Kelly (2010), a complexidade dos dados e o contexto de uso (conhecimentos prévios e tipo de relações dos dados com os conhecimentos) influenciam significativamente na forma como o estudante lida com dados distintos.

Considerando o exposto nos parágrafos anteriores, podemos afirmar que a argumentação tem papel primordial na elaboração e disseminação dos conhecimentos científicos, o que a torna promissora para a aprendizagem *sobre ciência* e de *fazer ciência* (dois dos objetivos para o Ensino de Ciências propostos por Hodson (1992) e presentes nos documentos oficiais atuais de inúmeros países). Para Kuhn (1993), Duschl e Osborne (2002), Driver et al. (2000) e Jiménez-Aleixandre (2008), o Ensino de Ciências efetivamente contribuirá para a aprendizagem sobre ciência e para o fazer científico quando der aos estudantes a oportunidade de engajamento em argumentação, construção de explicações e avaliação de evidências. Para esses autores, atividades práticas que não dão oportunidades para discussão e construção social do conhecimento a partir da avaliação de diferentes perspectivas para um fenômeno falham em representar a essência da natureza da ciência e não estabelecem condições para o entendimento dos estudantes. Jiménez-Aleixandre (2008) afirma que o professor tem importante papel a desempenhar ao apontar possíveis interpretações e pedir aos estudantes que considerem evidências para cada uma delas. Para a autora, essas ações são frutíferas em grupos pequenos de discussão em que os estudantes têm a oportunidade de explorar suas próprias posições. Nesses casos, o professor tem o papel de engajá-los na comparação e decisão da melhor solução. Ao realizar essas ações, o professor pode tornar os estudantes conscientes sobre a maneira como cientistas raciocinam na análise de hipóteses rivais (Driver et al., 2000; Osborne, 2007). Ainda segundo Jiménez-Aleixandre (2008), professores devem desenvolver, juntamente com os estudantes, critérios para construção e avaliação de argumentos. Por exemplo, bons argumentos são diferentes de crenças prévias e meras opiniões, podem incluir múltiplas justificativas de diferentes naturezas e que são suportados por evidências (Duschl, 2008; Jiménez-Aleixandre & Pereiro Muñoz, 2002; Sandoval & Millwood, 2008).

Com relação à argumentação voltada para a educação científica, discutimos, a seguir, sobre sua influência no Ensino de Ciências no que tange o **desenvolvimento conceitual**, isto é, aprender ciência.

Resultados de pesquisas (Cross, Taasobshirazi, Hendricks, & Hickey, 2008; Riemeier, Fleischhauer, & von Auschnaiter, 2010; von Auschnaiter, Erduran, Osborne, & Simon, 2008) evidenciam que o engajamento em argumentação pode fornecer um entendimento mais claro dos conceitos pré-existentes, permitir ao estudante incorporar novas ideias às existentes e expandir o conhecimento, modificando concepções alternativas. Isto pode ser explicado pelo caráter dialógico envolvido na produção social do conhecimento e pela reflexão e avaliação do conhecimento proporcionados pelo ensino que favorece a argumentação (Abi-El-Mona & Abd-El-Khalick, 2011; Osborne, 2007). Para Osborne (2007), estudantes que se engajam em discussão sobre textos científicos e exploram porque a resposta incorreta é incorreta, ao invés de focar apenas na resposta correta, desenvolvem um entendimento conceitual sólido comparado com outros estudantes que não têm essa oportunidade (Zohar & Nemet, 2002). Para Jiménez-Aleixandre e Pereiro Muñoz (2002), a argumentação oferece oportunidades para o desenvolvimento e controle do aprendizado pelos próprios estudantes, de forma a atuarem como produtores de conhecimentos, ao invés de consumidores de conhecimentos produzidos por outros. Para que isso ocorra, é necessário que, em contextos argumentativos, os estudantes: (i) gerem proposições, conclusões, soluções, e questões na resolução de problemas; (ii) escolham entre duas ou mais explicações ou teorias concorrentes sobre um fenômeno; (iii) apoiem suas conclusões com evidências (dados empíricos ou hipotéticos), examinem evidências experimentais à luz de ideias prévias e estructurem seus conhecimentos de forma a gerar justificativas e articular razões para dar suporte a uma conclusão; (iv) falem e escrevam sobre ciência ao: discutir sobre caminhos próprios para resolução de problemas experimentais, formular hipóteses, produzir relatórios, tentar persuadir outros sobre seus resultados etc. (Jiménez-Aleixandre, 2008).

Segundo Osborne (2007), há determinados tópicos da ciência, como a constituição da matéria (partículas e espaços vazios), em que as evidências (por exemplo, a ocorrência de dissolução de uma substância em outra) não falam diretamente. Assim para seu entendimento, é necessária a criação de modelos e explicações a partir do processo dialógico de argumentação. Nesse sentido, a argumentação e a produção de modelos explicativos estão intimamente conectados na avaliação e desenvolvimento do

conhecimento (Berland & Reiser, 2009; Bottcher & Meisert, 2010; Jiménez-Aleixandre & Puig Mauriz, 2010), principalmente, daqueles conceitos de natureza fortemente abstrata, como os discutidos no âmbito da Química (por exemplo, ligações químicas e equilíbrio químico) (Erduran & Duschl, 2004).

Na seção anterior, comentamos que não é viável, em situações de ensino, a separação das dimensões *argumentar para aprender* e *aprender a argumentar*, o que pode ser justificado a partir das ações esperadas dos estudantes em contextos argumentativos. Por exemplo, ao analisar e utilizar evidências em argumentos para escolha de modelos e proposição de explicações, os estudantes podem desenvolver habilidades argumentativas (aprender a argumentar) concomitantemente ao desenvolvimento de conhecimentos conceituais (argumentar para aprender) (como por exemplo, em Cross et al., 2008). Simultaneamente, eles podem desenvolver conhecimentos sobre ciência ao fazer ciência, por exemplo, ao utilizar elementos retóricos (linhas de raciocínio convergentes e progressivas) para convencer seus colegas sobre suas conclusões (como por exemplo, em Kelly et al., 2008). Vários projetos de ensino, por exemplo, TSC (*Thinking in Science Classrooms*) (Zohar, 2004), IDEAS (*Ideas, Evidence and Argumentation in Science Classrooms*) (Osborne, Erduran, & Simon, 2004b) e RODA (*Reasoning, Discourse, Argumentation*) (Jiménez-Aleixandre, Otero Gallástegui, Eirexas Santamaría, & Puig Mauriz, 2009) foram formulados dentro dessa perspectiva de desenvolvimento de conhecimentos científicos (embutidos em questões científicas e sócio-científicas) conjuntamente com o desenvolvimento do raciocínio científico.

Apesar de não ser o foco dessa revisão, vamos comentar brevemente sobre as questões sócio-científicas na argumentação no Ensino de Ciências porque isso será importante para discutir sobre a relação entre a qualidade dos argumentos e os conhecimentos do indivíduo que argumenta. No Ensino de Ciências, existem evidências de que a inclusão de discussões de questões sócio-científicas tem contribuído para o letramento científico dos estudantes e a formação de cidadãos críticos (Simonneaux, 2008). Questões dessa natureza são controversas, descrevem dilemas sociais influenciados por campos científicos, cujas visões competem entre si e têm implicações em diversas áreas (Simonneaux, 2008). A abordagem de tais questões no ensino envolve a condução de problemas complexos (que envolvem várias áreas do conhecimento), semiabertos e controversos (possíveis de ser debatidos), algo que naturalmente exige dos estudantes um

posicionamento, uma argumentação sólida e consistente para defender seu ponto de vista e convencer os demais, bem como uma tomada de decisão ao final do processo discursivo.

Na pesquisa conduzida por Zohar e Nemet (2002) a respeito de questões sócio-científicas relacionadas com genética humana, foi encontrado um grande avanço na qualidade da argumentação dos estudantes (cerca de 90% deles foi capaz de contra-argumentar e produzir refutações). Na pesquisa conduzida por Osborne et al. (2004a) os resultados relativos à melhoria na capacidade de argumentar, contra-argumentar e refutar foram bem mais discretos em comparação com os da pesquisa de Zohar e Nemet (2002) (principalmente com relação ao tema científico). Em ambas pesquisas, as discussões com os estudantes ocorreram em grupos pequenos, e todos os professores envolvidos tinham recebido formação específica sobre como favorecer e conduzir contextos argumentativos. Entretanto, as pesquisas têm natureza distinta. No trabalho de Zohar e Nemet, os estudantes tinham o papel de utilizar o conhecimento sobre genética (já adquirido anteriormente) para argumentar em problemas sócio-científicos, enquanto no caso de Osborne et al. (2004a) eles tinham que prover argumentos para sustentar a escolha de uma teoria e justificar porque acreditavam nela.

Os resultados dessas duas pesquisas apontam para o fato de os estudantes terem pior desempenho quando argumentam em contextos envolvendo questões científicas. Para Kuhn (1991) e Hogan e Maglienti (2001), o desenvolvimento de argumentações é mais complicado no contexto científico do que em relação ao contexto sócio-científico porque a qualidade dos argumentos é dependente de um conjunto apropriado de conhecimentos científicos que constituem os dados e as justificativas para o argumento. No contexto sócio-científico, estudantes podem propor ideias e conhecimentos desenvolvidos informalmente a partir de suas vivências cotidianas e valores éticos. Para Aufschnaiter et al. (2008), conhecimento prévio é um aspecto fundamental para engajamento em argumentação, pois os dados da pesquisa conduzida por eles evidenciou que estudantes têm dificuldade de se engajar em discussões que envolvem casos não familiares a eles. Segundo os autores, para engajá-los, as tarefas devem envolver conceitos do dia-a-dia juntamente com as ideias científicas, com o intuito de ampliar o conhecimento dos estudantes. De forma similar, Sandoval (2005) sugere que a construção de argumentos de alta qualidade requer a aplicação de conhecimentos conceituais provenientes de teorias científicas relevantes para um problema específico.

Julgamos bastante razoável os resultados da pesquisa conduzida por Lewis e Leach (2006) relativa ao relacionamento entre conhecimento científico e a habilidade de engajamento em discussões sócio-científicas. Eles mostraram, através de uma pesquisa com 200 estudantes (14-16 anos), que o engajamento em discussões racionais de aplicação de tecnologia genética é fortemente influenciado pelo reconhecimento de questões-chave, o que requer algum entendimento de conhecimentos científicos relevantes. Eles sugerem que o requisito base de conhecimento científico é relativamente modesto e pode ser efetivamente ensinado através de breves intervenções que sejam bem projetadas e contextualizadas, mas eles não descartam completamente a relevância de tal conhecimento de conteúdo.

Nesta seção, apresentamos uma visão breve de pesquisas sobre argumentação desenvolvidas na área de Ensino de Ciências. O estudo da argumentação nessa área é recente. Foi a partir da publicação do trabalho *“Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms”* de Driver, Newton e Osborne em 2000 que mais pesquisas começaram a ser realizadas e divulgadas (Bozzo & Motokane, 2009). Nos últimos dois anos, particularmente, foram publicados livros específicos sobre o tema (por exemplo, Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008; Jiménez-Aleixandre, 2010; Nascimento & Plantin, 2009), o que demonstra a relevância desse tema para o Ensino de Ciências. Nesse sentido, a pesquisa ora relatada visa contribuir para este campo no que se relaciona à proposição de atividades de ensino que visam favorecer a argumentação para a educação científica. Mas, antes de apresentarmos as questões de pesquisa, evidenciando como pretendemos atender esse objetivo, discutiremos sobre ferramentas metodológicas que são utilizadas nos trabalhos sobre argumentação na área de Ensino de Ciências.

2.7. ARGUMENTAÇÃO: ASPECTOS METODOLÓGICOS

Na opinião de Erduran (2008), os aspectos metodológicos são os maiores desafios para aqueles que lidam com argumentação no contexto de pesquisa em ensino. A autora enfatiza a importância de os pesquisadores explicitarem claramente o motivo da escolha metodológica de acordo com a questão de pesquisa investigada. Julgamos que tal preocupação é pertinente para todos os campos de pesquisa, sobretudo o de argumentação, que é um campo de estudo relativamente recente no contexto do Ensino de Ciências e em que há muita discussão sobre ferramentas analíticas (ver Sampson & Clark, 2008, para mais detalhes). Visando coerência com esse aspecto, neste item apresentaremos:

(i) uma análise crítica da ferramenta para análise de argumentos proposta por Toulmin (figura 2.8) e uma variação desta, proposta por pesquisadores da área de Ensino de Ciências (Chin & Osborne, 2010; Osborne et al., 2004a); (ii) ferramentas campo-dependentes (Sandoval & Millwood, 2008; Zohar & Nemet, 2002); (iii) os esquemas de Walton e suas aplicações no Ensino de Ciências (Correa, Mozzer, & Justi, 2010; Duschl, 2008; Jiménez-Aleixandre & Pereiro Muñoz, 2002) e a (iii) alguns elementos da pragma-dialética de van Eemeren e Grootendorst (1992) e suas aplicações no Ensino de Ciências (Bortoletto & Carvalho, 2009; Silva, 2010). Essa análise crítica fundamentará a escolha metodológica para responder cada uma das questões de pesquisa deste trabalho, uma vez que, a partir dela, explicitaremos nossas convicções em relação às potencialidades de determinadas metodologias e como agiremos na análise de dados.

2.7.1. Padrão de Toulmin e variação no Ensino de Ciências

O padrão de Toulmin inspirou pesquisadores de vários campos (linguística, economia, matemática, direito etc.) a analisar a qualidade de argumentos. Aqui, damos destaque especial ao uso desse modelo no Ensino de Ciências (Bell & Linn, 2002; Capecchi & Carvalho, 2000; Jiménez-Aleixandre et al., 2000; Nascimento & Vieira, 2008; Sá & Queiroz, 2007) buscando discutir vantagens e desvantagens do uso do mesmo.

O foco do modelo de Toulmin é a análise da estrutura dos argumentos e da natureza das justificativas (Sampson & Clark, 2008). Bell e Linn (2002) utilizaram o modelo de Toulmin para analisar os argumentos de estudantes relacionados à natureza da luz. Eles averiguaram que os estudantes tenderam a utilizar dados para dar suporte às suas conclusões, mas frequentemente não incluíram garantias e apoios. Jiménez-Aleixandre et al. (2000) perceberam que os estudantes tiveram dificuldades em utilizar dados e garantias para dar suporte às suas conclusões em problemas relacionados à genética. Eles observaram se atitudes relacionadas a ‘doing school’²⁵ (cultura escolar) e ‘doing the lesson’ (por exemplo, copiar atividade sem participar efetivamente, não apresentar ponto de vista e defendê-lo no grupo porque o mais importante é a entrega da atividade resolvida ou porque há um figura de autoridade no grupo) influenciaram na argumentação dos estudantes. De acordo com os dados, eles perceberam que isso influenciou no desenvolvimento da argumentação

²⁵ Estas expressões são apresentadas em inglês neste trabalho por não termos encontrado, em português, expressões que as substituíssem mantendo o mesmo significado, e por serem assim utilizadas nos trabalhos na área de Ensino de Ciências.

científica ('doing science'). Por isso, eles defendem que a escola deve promover formas de engajar os estudantes em práticas autênticas da ciência de forma intensiva e que os professores devem ter uma formação que lhes torne mais conscientes desses aspectos. Nascimento e Vieira (2008) utilizaram o modelo de Toulmin para analisar a postura de um formador de professores de física. O modelo se mostrou útil para evidenciar a gestão da discussão pelo formador, que estabeleceu, fez circular e avaliou a discussão, ao invés de se pautar no discurso de autoridade (o que foi percebido a partir da solicitação de garantias para as opiniões).

Pesquisas como as citadas no parágrafo anterior evidenciam a relevância do modelo de Toulmin para compreender o discurso argumentativo do professor e dos estudantes em sala de aula e trazem implicações sobre como o professor pode favorecer a argumentação dos estudantes e aspectos das estratégias que precisam ser melhorados visando auxiliá-los a se engajar em argumentação e a produzir argumentos mais complexos.

De acordo com vários autores, a maior limitação ao se utilizar o modelo de Toulmin no Ensino de Ciências consiste na distinção entre o que é dado, garantia, apoio ou conclusão ao analisar argumentos (Erduran, 2008; Nascimento & Vieira, 2008; Sampson & Clark, 2008).

Para Duschl (2008), o discurso da sala de aula e sua avaliação deveriam se focar no nível de tomada de decisões (no qual a ciência é propriamente feita) sobre 'o que conta' como dado, garantia, apoio, qualificador, refutação e conclusão, ou seja, o foco deveria estar no contexto epistêmico. Nesse sentido, para Duschl (2008), o modelo de Toulmin é pouco eficaz para ajudar alunos e professores a apurar 'o que conta', uma vez que o modelo utiliza categorias muito gerais e abrangentes para caracterizar os argumentos. Na visão de Duschl, é necessário um nível mais apropriado de detalhes das justificativas.

Segundo Kelly et al. (1998), apesar de o modelo apresentar distinções entre dados, conclusões, garantias e apoios, o esquema é restrito a argumentos relativamente curtos e, numa situação real, os componentes do argumento causam ambiguidade. Para esses autores, a definição de quando começa um argumento e quando o outro termina, ou seja, sobre o que consiste a unidade de análise, é problemática. Por isso, Erduran (2008) defende a necessidade de criação de regras claras pelos analistas para delimitar as unidades de análise. Para Sampson e Clark (2008), mesmo com o uso de definições para distinção dos componentes do argumento e observação de conectores como "então" para ligar um dado a

uma conclusão ou “porque” para localizar a garantia, a perspectiva pessoal do analista sobre a classificação de cada um dos elementos influencia na análise.

Reconhecemos que a subjetividade dos pesquisadores influencia a análise sob quaisquer circunstâncias, isto é, não apenas utilizando o modelo de Toulmin. Entretanto, julgamos que a subjetividade pode ser reduzida quando os pesquisadores discutem as divergências até se chegar a um acordo (isto é, quando usam triangulação entre juízes) e quando eles usam definições claras sobre as categorias analíticas. No caso do modelo de Toulmin, concordamos com Kelly et al. (1998) e Jiménez-Aleixandre (1998) sobre a relevância da observação de aspectos contextuais do discurso para distinguir o que é dado, garantia, apoio e conclusão e, assim, diminuir as subjetividades da análise. Para esta última autora, embora seja importante realizar as distinções entre os componentes do argumento, nem sempre a distinção ao analisar uma situação real é uma tarefa simples. Além disso, dependendo da situação, é necessário avaliar o status do componente a partir do ponto de vista ontológico e seu papel no discurso, por exemplo, algo que tem caráter de dado pode assumir papel de justificativa num discurso.

Apesar de reconhecermos essas dificuldades inerentes à aplicação do modelo de Toulmin, julgamos que a natureza dos problemas pode derivar do fato de o modelo ter sido pensado para situações de jurisprudência e no domínio da perspectiva lógica do argumento. Nascimento e Vieira (2008) e Silva (2010) corroboram este julgamento. Para os autores, as limitações apontadas para o modelo de Toulmin são fruto da utilização do mesmo fora do campo em que o autor o concebeu. Sendo assim, para Nascimento e Vieira (2008), as críticas ao modelo de Toulmin relativas à assimetria dos interlocutores e à não consideração da construção coletiva do argumento (Driver et al., 2000) são pouco consistentes porque o foco do autor era a estrutura lógica interna dos argumentos.

Osborne et al. (2004a) propuseram modificações ao modelo de Toulmin com o intuito de avaliar o nível dos argumentos de estudantes que participaram de atividades específicas a esse fim e de diminuir as dificuldades relativas ao julgamento dos elementos do argumento. A ênfase dos pesquisadores incidiu na capacidade de refutação. Eles concordam com Kuhn (1991) sobre a refutação ser a habilidade argumentativa mais complexa. Dessa forma, foram criados níveis para medir a qualidade dos argumentos dos estudantes em função das refutações, como evidenciado no quadro 2.1.

Nível 1	Argumentação consiste de argumentos compostos por afirmações (conclusões).
Nível 2	Argumentação consiste de argumentos compostos por afirmações com dados, apoios e garantias.
Nível 3	Argumentação consiste de argumentos compostos por afirmações com dados, apoios, garantias e uma refutação simples.
Nível 4	Argumentação consiste de argumentos compostos por afirmações com dados, apoios, garantias e uma refutação mais complexa.
Nível 5	Argumentação consiste de argumentos compostos por afirmações com dados, apoios, garantias e várias refutações mais complexas.

Quadro 2.1. Estrutura analítica utilizada por Osborne et al. (2004a, p. 1008).

Osborne et al. (2004) utilizaram essa estrutura para analisar as interações discursivas de estudantes e a prática do professor, o que tornou possível recomendações para planejamento de ensino e formação de professores. Segundo os autores, a adaptação do modelo de Toulmin diminuiu as subjetividades da análise, uma vez que o foco não foi em distinguir uma garantia de um apoio e/ou de um dado, mas em perceber se o argumento como um todo era justificado.

Mais recentemente, Chin e Osborne (2010) propuseram algumas modificações na estrutura analítica mostrada no quadro 2.1. a fim de torná-la mais completa. Para eles, os qualificadores 2 e 3 se distinguem não pela refutação, mas pelo detalhamento das justificativas. Foram criados dois níveis 4 (4A e 4B), no primeiro, a refutação é relativa a fraqueza do argumento do outro, enquanto no segundo a refutação é em relação ao argumento pessoal.

Por outro lado, Sampson e Clark (2008) advertem que, enquanto um argumento pode ser forte de acordo com o modelo de Toulmin (por apresentar todos os seus componentes), ele pode ser fraco do ponto de vista científico (por apresentar poucos conceitos consistentes ou relevantes ao contexto). Segundo os autores, como consequência, aqueles interessados em examinar o conteúdo do argumento devem complementar o modelo visando atingir esse objetivo, como foi feito por Zohar e Nemet (2002) ao propor uma variação do modelo de Toulmin (apresentada a seguir).

2.7.2. Ferramentas analíticas campo-dependentes

Zohar e Nemet (2002) propuseram alterações no modelo de Toulmin com o intuito de avaliar a qualidade dos argumentos gerados pelos estudantes em termos estruturais e de

conteúdo. Para as autoras, um argumento é uma afirmativa seguida de razões, suportes e justificativas. Nesse sentido, elas colapsaram os elementos garantias, dados e apoios do modelo de Toulmin em uma única categoria (justificativa). De forma geral, para elas, um argumento forte é composto por várias justificativas que apresentam conteúdo relevante. As pesquisadoras criaram categorias como 'não utilizou conhecimento biológico', 'utilizou conhecimento biológico incorretamente', 'considerou conhecimento biológico não específico' para analisar as respostas antes e após a instrução em ambos os grupos (grupo controle, no qual o ensino de genética ocorreu de forma tradicional, isto é, baseado no livro didático e no discurso de autoridade do professor, e grupo experimental, no qual foi proposta uma estratégia de ensino que visava o desenvolvimento de conceitos de genética via argumentação, assim como o desenvolvimento das habilidades argumentativas). A partir da análise realizada pelas autoras no contexto de dilemas em genética humana foi verificada forte relação entre domínio de conteúdo e argumentação e uma grande melhora para o grupo experimental na capacidade de argumentar, contra-argumentar e refutar. Há algumas críticas a essa metodologia que se relacionam à ausência de análise de dados dos experimentos discutidos pelos estudantes. Essa crítica é pertinente porque as justificativas em domínios científicos geralmente são baseadas em interpretações de dados coletados através de experimentos (Sampson & Clark, 2008). Outras críticas se relacionam ao fato de as conclusões abrangerem múltiplas perspectivas, pois elas trabalharam com problemas sócio-científicos, sendo que no contexto científico as conclusões necessitam de um corpo próprio de conhecimentos com caráter mais explanatório (Sampson & Clark, 2008).

Pensando-se especificamente no contexto científico, Sandoval e Millwood (2005, 2008) desenvolveram uma estrutura para julgamento da qualidade do argumento científico gerado por estudantes. Eles focaram atenção na avaliação de argumentos baseados em critérios campos-dependentes. Especificamente, a estrutura analítica se dirigia a dois aspectos: um de ordem conceitual, relacionado à articulação de conclusões com estruturas teóricas específicas e de justificativas das conclusões com dados disponíveis e outro de ordem epistemológica, relacionado a citar número suficiente de dados para respaldar uma conclusão, escrever uma explicação causal coerente para o dado fenômeno e incorporar elementos retóricos apropriados ao fazer menção aos dados. A partir do uso dessa estrutura analítica aplicada ao tema seleção natural, os autores verificaram que a construção de argumentos de alta qualidade depende do conhecimento científico apropriado e do conhecimento dos critérios para proposição de argumentos de qualidade elevada. Sampson

e Clark (2008) enfatizam a relevância dessa estrutura analítica para o contexto científico de produção de argumentos em sala de aula devido à ênfase no poder suficiente das explicações. Por outro lado, Osborne e Patterson (2011) julgam que a proposta dos autores pode ser confusa quanto à distinção entre explicação e argumento.

2.7.3. Esquemas de Argumentação de Walton

Assim como o padrão de Toulmin, os esquemas de Walton (1996) não foram criados pensando-se na educação. Os livros do autor são direcionados ao público da área de Direito. A partir de buscas na literatura da área de Ensino de Ciências, verificamos que a aplicação das ideias de Walton é recente. Isto pode ser evidenciado pela ausência de análise dessa proposta por Sampson e Clark (2008) no trabalho de revisão das principais ferramentas metodológicas sobre argumentação empregadas na área de Ensino de Ciências. Assim, parece-nos que Duschl e colaboradores (Duschl, 2008; Duschl, Ellenbogen, & Erduran, 1999) e Jimenez-Aleixandre e Pereiro-Munõz (2002) são os precursores do uso dos esquemas de argumentação propostos por Walton.

Walton avalia o argumento enquanto raciocínio presuntivo, isto é, plausível. A conclusão é um tipo de adivinhação ou uma pressuposição, aceita numa base tentativa e sujeita à retratação, caso novas informações estejam disponíveis no processo (Walton, Reed, & Macagno, 2008). Para análise mais sistemática do argumento presente no raciocínio presuntivo, Walton e colaboradores (2008) sistematizam sessenta e cinco esquemas de argumentos (por exemplo, opinião de especialistas, causa-efeito, sinal, analogias etc.). Os esquemas são formas de argumentos que representam estruturas de inferências dos tipos mais comuns de raciocínio utilizados no cotidiano. Um exemplo de esquema de argumento é o de analogia, apresentado no quadro 2.2.

Premissa de similaridade	Geralmente, caso C_1 é similar a caso C_2 .
Premissa base	A é verdade (falso) no caso C_1 .
Conclusão	A é verdade (falso) no caso C_2 .

Quadro 2.2. Esquema de argumento de analogia.

Duschl (2008) utilizou nove dos esquemas propostos por Walton (1996) para analisar a instrução de estudantes imersos no projeto SEPIA²⁶ e um grupo controle. Os esquemas selecionados por Duschl foram aqueles que, segundo o autor, apresentavam relação com características do raciocínio científico (requisição de informação, opinião de especialista, analogia, inferência etc.). Duschl adotou esses esquemas porque, segundo ele, a análise do conteúdo ou foco dos “apelos” levaria a uma aproximação dos critérios epistêmicos utilizados para estabelecer e justificar a qualidade e força do argumento (‘o que conta’).

Correa et al. (2010) fundamentados no esquema e nas questões críticas²⁷ de argumento de analogia de Walton (1996) (quadro 2.3) tinham como objetivo perceber a validade dos argumentos elaborados por um grupo de alunos solicitados a explicar os aspectos submicroscópicos do processo de dissolução de permanganato de potássio em água, sob agitação. A análise realizada nesse trabalho exemplifica como uma questão crítica associada a um esquema de argumentação de analogia (por exemplo, “existe alguma diferença entre as situações que minaria a situação pensada?”) pode ser utilizada para perceber se há necessidade de reformular o argumento ou o raciocínio analógico.

1.	Há diferenças entre C_1 e C_2 que minariam a força da similaridade citada?
2.	A é verdadeiro (falso) em C_1 ?
3.	Há algum outro caso C_3 que é similar a C_1 , mas no qual A é falso (verdadeiro)?

Quadro 2.3. Questões críticas relativas ao argumento de analogia.

Segundo os pesquisadores, ao ser identificado um esquema de argumentação, o uso das questões críticas associadas a ele podem proporcionar às pessoas envolvidas no processo a percepção das falhas nos argumentos e possíveis refutações às suas linhas de raciocínio.

Ainda segundo esses autores, os esquemas de Walton podem ser usados para perceber a atuação do professor em sala de aula. Segundo eles, após os argumentos proferidos pelo professor serem classificados, os tipos de esquemas argumentativos

²⁶ Avaliação da Educação em Ciências através de Portfólios. O objetivo geral do projeto é o desenvolvimento de raciocínio científico de estudantes da educação básica.

²⁷ Utilizadas para avaliar criticamente um dado argumento num caso particular.

predominantes poderiam constituir uma forma para acessar seus valores e crenças, suas preocupações e suas concepções pedagógicas.

2.7.4. A Pragma-dialética e o Ensino de Ciências

A partir de buscas na literatura, percebemos que a pragma-dialética²⁸ não tem sido muito utilizada como ferramenta analítica por pesquisadores da área de Ensino de Ciências, o que pode ser evidenciado pela não discussão dessa proposta por Sampson e Clark (2008). O uso da teoria para fins analíticos só foi encontrado em dois trabalhos brasileiros (Bortoletto & Carvalho, 2009; Silva, 2010). Brevemente, ela consiste de uma estrutura analítica (apresentada no quadro 2.4) seguida por regras para discussão crítica (quadro 2.5), que conduziriam a uma excelência de posicionamento dos participantes envolvidos em argumentação (para mais detalhes, ver Eemeren et al., 1996).

²⁸ Teoria da argumentação desenvolvida na década de 1970 por Frans van Eemeren e Rob Grootendorst, no Departamento de Discurso da Comunicação da Universidade de Amsterdã. Ela foi proposta com o intuito de desenvolver um código de conduta para o discurso argumentativo.

1. Natureza da diferença de opinião	Simple: se houver apenas uma proposição em questão na discussão.
	Múltiplo: se houver mais de uma proposição.
	Misto: se a outra parte não está apenas duvidando, mas adota um ponto de vista oposto.
	Não misto: se o ponto de vista de uma parte encontrar apenas uma dúvida da outra parte.
2. Distribuição dos papéis entre os participantes	Protagonista: é quem tem a obrigação de defender o ponto de vista em questão.
	Antagonista: é quem tem a obrigação de responder criticamente ao ponto de vista e à defesa do protagonista.
3. Premissas que compõem argumentos e conclusões	Explícito: elementos expressos no discurso.
	Implícito: elementos que foram omitidos no discurso.
4. Estrutura da argumentação	Simple: em que há um ponto de vista e um argumento para defendê-lo.
	Múltipla: em que existe um ponto de vista e mais de um argumento para defendê-lo independentemente.
	Coordenativa: consiste de um ponto de vista e mais de um argumento interdependente para defendê-lo.
	Subordinativa: na qual um ponto de vista é defendido por um argumento que é defendido por um sub-argumento, que é defendido por um sub-sub-argumento e assim sucessivamente.
5. Esquemas de argumentação	Argumentação baseada em relação sintomática ou indicativa: Y é verdade de X, Porque: Z é verdade de X, E: Z é indicativo de Y. Questões críticas: - Há também outro não Y que tem a característica Z? - Há também outro Y que não tem a característica Z?
	Argumentação baseada em relação de analogia: Y é verdade de X, Porque: Y é verdade de Z, E: Z é comparável a X. Questão crítica: Há alguma diferença significativa entre Z e X?

Quadro 2.4. Síntese analítica para avaliar o discurso argumentativo (Silva, 2010, p. 71-72).

1	Cada uma das partes não deve evitar ou impedir que a outra avance no seu ponto de vista.
2	Uma parte que avança um ponto de vista é obrigada a defendê-lo se a outra parte solicitar.
3	Um ataque de uma parte a um ponto de vista deve estar relacionado ao ponto de vista que realmente está sendo defendido pela outra parte.
4	Uma parte deve defender um ponto de vista somente pelo avanço da argumentação relacionada àquele ponto de vista.
5	Uma parte não deve repudiar uma premissa implícita ou falsamente apresentar alguma coisa como premissa não expressa pela outra parte.
6	Uma parte não pode apresentar falsamente uma premissa como ponto de partida aceito, nem negar uma premissa que representa um ponto de partida aceito.
7	Uma parte não pode dizer que um ponto de vista está conclusivamente defendido se a defesa não teve lugar por meio de esquemas de argumentação apropriados.
8	Uma parte só pode usar argumentos que sejam logicamente válidos ou capazes de ser validados por tornar explícito uma ou mais premissas não expressas.
9	Uma defesa falha de um ponto de vista deve resultar no protagonista retratá-la, enquanto uma defesa conclusiva de um ponto de vista deve resultar do antagonista retratar a dúvida.
10	Uma parte não deve usar formulações que sejam insuficientemente claras ou confusamente ambíguas e uma parte deve interpretar as formulações da outra parte tão cuidadosamente quanto possível.

Quadro 2.5. Regras da pragma-dialética para discussão crítica (van Eemeren et al., 1996, p. 283-284).

Bortoletto e Carvalho (2009) utilizaram a pragma-dialética para analisar os atos de fala, defesa de diferentes pontos de vista, justificativas e estágios da discussão de alunos do ensino técnico envolvidos em processos de argumentação sobre um tema sócio-científico. A partir do uso de aspectos da teoria pragma-dialética, os pesquisadores perceberem que (i) as diferenças de opiniões foram resolvidas, mas foi observada a construção de argumentos falaciosos e argumentos inconclusivos e, às vezes, fora do limite do contexto (violação da regra de conduta ao tratar sobre posição não expressa anteriormente) e (ii) a decisão a respeito de um ponto de vista não foi feita de modo colaborativo em busca de consenso; ao contrário, isso ocorreu através de apontamentos individuais e estratégicos. Nesse sentido, os autores apresentam implicação para o ensino relativo à proposição de estratégias e posicionamento do professor que acarretem na construção coletiva de um consenso, sem avanço a posições das partes e posicionamento dentro do contexto.

No trabalho de Silva (2010), foram utilizados os quatro primeiros elementos dispostos no quadro 2.4 para caracterizar como um professor em formação inicial utilizou a linguagem para influenciar os processos que poderiam promover aprendizagem em situações argumentativas espontâneas ou planejadas em aulas de Ciências da Natureza na Educação de Jovens e Adultos.

A análise realizada possibilitou a percepção da relevância do uso da pragma-dialética como instrumento para análise do *processo* de argumentação. Entretanto, foi necessária a criação de três formas de representação esquemáticas – todos os pontos de vista envolvidos e como eles interagiram; relações diretas entre a fala dos participantes e a estrutura da argumentação e panorama da situação argumentativa, tornando visível o processo como um todo – para favorecer a visualização das interações entre os participantes da argumentação (para mais detalhes, ver Silva, 2010).

Silva (2010) aponta a viabilidade da pragma-dialética em relação à proposta de Toulmin. Segundo a autora, é provável que em algumas salas de aulas não se perceba a argumentação devido à realização da análise de acordo com o modelo de Toulmin, porque o mesmo não reconhece argumentos implícitos e desvaloriza aqueles em que as conclusões não são sistematicamente sustentada por dados e conclusões. De acordo com os dados analisados por Silva (2010), foi comum a presença de argumentos dessas naturezas, que indicaram racionalidade, mas diferente da racionalidade da ciência. O conhecimento de como os estudantes argumentam – que foi potencializado pela pragma-dialética – é importante para o professor saber como contribuir de forma mais expressiva para a aprendizagem deles. A partir da utilização da pragma-dialética as possibilidades de identificar a argumentação foram ampliadas, pois a diferença de opinião foi o marcador de situação argumentativa, sendo destacada a forma como os participantes interagiram para resolver essa diferença de opinião.

No capítulo 2 apresentamos visões sobre argumentação de diferentes campos, sempre que possível, apresentando conexões com o Ensino de Ciências, com intuito de proporcionar ao leitor uma noção mais ampla do assunto. Destacamos que a partir dessas leituras, escolhemos os conceitos de argumentação, argumento e evidência mais relevantes para o objetivo dessa pesquisa (apresentados a seguir).

A argumentação sobre modelos explicativos será entendida como comparação da capacidade explicativa de distintos modelos que competem entre si ao explicar fenômenos químicos. A capacidade explicativa do modelo, no nosso caso, para entender ligação iônica e interações intermoleculares, estará atrelada a(s) justificativa(s) relacionada(s) a(s) evidência(s) (dado(s) disponibilizado(s) nas atividades de modelagem que têm o objetivo de “provar”²⁹ a adequação do modelo ou dado(s) mobilizado(s) pelo sujeito devido as suas experiências anteriores) e conhecimento(s) teórico(s) (conceito(s), teoria(s) e modelo(s) que visa(m) demonstrar *como* determinada evidência é relevante no julgamento do modelo). Assim, o argumento terá dois elementos principais: evidência e conhecimento teórico específico, sendo que, o primeiro, deve estar atrelado ao nível macroscópico da Química e, o segundo, ao nível sub-microscópico (seção 2.3), pois é aquele em que as explicações químicas estão fundamentadas. Quanto maior o grau de relacionamento entre as justificativas (evidência e conhecimento teórico), melhor o argumento que fundamenta a escolha de um modelo, que poderá ganhar o status de modelo consensual ao passar pela fase de testes e, portanto, subsidiar explicações.

No capítulo 4 consideramos a discussão sobre argumento científico, a descrição teórica das ferramentas analíticas e os resultados das pesquisas conduzidas no Ensino de Ciências para fundamentar nossas escolhas quanto aos aspectos metodológicos utilizados em nosso trabalho visando responder as questões de pesquisa aqui investigadas (apresentadas no capítulo 3). Nesse capítulo tentaremos deixar ainda mais claro as escolhas conceituais apresentadas no parágrafo anterior.

²⁹ Adicionamos aspas porque julgamos que os estudantes devem entender que a evidência científica tem esse papel, mas que o conhecimento científico nunca é provado/confirmado (como discutido na seção 2.1). Por isso, julgamos que o professor deve usar o termo com parsimônia no ensino para não acarretar em visões inadequadas sobre natureza da ciência.

CAPÍTULO 3: QUESTÕES DE PESQUISA

A partir de (i) recomendações gerais da literatura sobre a importância da argumentação para a vida das pessoas, para a educação, e especificamente, para o Ensino de Ciências; (ii) recomendações específicas da literatura a respeito da potencialidade do ensino fundamentado em modelagem para o desenvolvimento da argumentação científica; (iii) minhas observações, enquanto professora, sobre a potencialidade de atividades fundamentadas no diagrama Modelo de Modelagem para favorecer o desenvolvimento desse raciocínio; decidimos investigar como o ensino fundamentado em modelagem pode contribuir para o desenvolvimento da argumentação de estudantes do ensino médio. Inicialmente, tínhamos o intuito de realizar tal análise a partir da avaliação das habilidades investigadas por Kuhn (1991) (apresentadas na seção 2.5, páginas 43 e 44).

Durante os anos de 2008 e 2009, nos preocupamos em propor um instrumento de coleta de dados (entrevista) (Mendonça, Correa, & Justi, 2009; Mendonça & Justi, 2009c) que pudesse ser utilizado para avaliar essas habilidades dos sujeitos antes e após a instrução por modelagem em dois contextos distintos: ciências sociais (inspirados nos problemas investigados por Kuhn (1991)) e ciências naturais (inspirado no material IDEAS (Osborne et al., 2004b) e na modelagem). A escolha dos dois tipos de problema se deveu à busca por elementos para perceber se havia ou não transferência de habilidades de um contexto ao outro – algo não consensual na literatura. A ideia de acessar as mesmas habilidades em dois momentos distintos visava favorecer a discussão sobre a evolução dos sujeitos antes e após o ensino por modelagem.

Assim, em 2009 foi realizada a coleta de dados visando buscar elementos para responder as seguintes questões de pesquisa:

1. Quais habilidades argumentativas são desenvolvidas pelos alunos ao participarem do processo de modelagem?
2. Como essas habilidades se relacionam com as fases do processo de modelagem?
3. Como a modelagem contribui para o desenvolvimento dessas habilidades?
4. Quais as habilidades pedagógicas do professor necessárias para a condução da modelagem de forma a favorecer as habilidades argumentativas?

Com as entrevistas, julgávamos ter dados relativos às habilidades iniciais dos sujeitos, isto é, antes do ensino por modelagem, e as habilidades finais, após o ensino por modelagem. Assim, a comparação das habilidades e do estudo do processo de ensino – a partir do levantamento das habilidades evidenciadas pelos estudantes durante o processo, assim como das relações das mesmas com aspectos do diagrama Modelo de Modelagem e com aspectos metodológicos relativos à aplicação das atividades de modelagem, como a atuação do professor – poderia subsidiar a discussão das questões de pesquisa destacadas no parágrafo anterior.

Inicialmente, nosso intuito era aplicar apenas as atividades de ensino por modelagem para o tema ligações iônicas. Mas, devido a observações da pesquisadora quanto à evolução da turma ao longo das atividades, leituras a respeito da necessidade de várias oportunidades para o desenvolvimento das habilidades, bem como a disponibilidade e comprometimento da professora, decidimos aplicar as atividades de ensino de introdução ao temas interações intermoleculares. Tais atividades já haviam sido aplicadas por outros professores e por mim, isto é, já estava validada em nosso grupo de pesquisa.

Após a coleta de dados, percebemos que havia um volume imenso de dados para serem analisados tanto em relação às entrevistas realizadas com os estudantes (dez entrevistas com os mesmos estudantes antes e após a instrução por modelagem para dois temas) quanto ao processo de ensino (dados relativos a três grupos em dois processos de ensino por modelagem). Além disso, ficou evidente que havia uma grande riqueza de aspectos a explorar com esses dados. Devido a isso e, pensando-se no tempo e viabilidade do trabalho de doutorado, decidimos que iríamos explorar os dados relacionados aos alunos visando responder as três primeiras questões de pesquisa listadas anteriormente. Julgamos que outro trabalho de doutorado poderia se ocupar da análise com foco no professor (quarta questão de pesquisa).

No exame de Qualificação, que ocorreu em junho de 2010, foram apresentadas as três primeiras questões de pesquisa e sugestões de como analisar as entrevistas e o processo de ensino visando respondê-las. Entretanto, antes mesmo da realização desse exame, a partir da análise preliminar dos dados do grupo 2 nas atividades de interações intermoleculares, já tínhamos indícios de que o foco nas habilidades argumentativas ao analisar o processo de ensino não era coerente, pois o mais importante era a justificativa do modelo, sua defesa e, quando necessário, sua refutação. Portanto, dar ênfase, assim como

Kuhn, ao descrédito de ponto de vista não nos auxiliaria a compreender a argumentação inerente à modelagem. Essa mesma conclusão foi atingida durante a discussão com a banca do exame de Qualificação. Além disso, os membros daquela banca fizeram duas sugestões excludentes quanto à escolha dos dados a serem analisados: foco no argumento enquanto produto, ou seja, a aprendizagem pensada individualmente ou foco no argumento enquanto processo, ou seja, a aprendizagem pensada socialmente. No primeiro caso, a tese teria como foco a análise das entrevistas. No segundo caso, a tese teria como foco a análise do processo de ensino e, para tal, deveria ser proposto um instrumento que fosse mais sensível aos dados que tínhamos e às nossas questões de pesquisa. Em outras palavras, talvez tivéssemos que criar um instrumento próprio e não simplesmente nos basear nas propostas existentes na literatura. Nesse sentido, justifica-se também a exclusão da análise das habilidades argumentativas pesquisadas por Kuhn (como explicitado anteriormente), pois a autora fez uma análise mais clínica, mais individual, fora do contexto de sala de aula. Portanto, a análise da entrevista não faria sentido junto com os dados de sala de aula pelo fato de a metodologia da primeira ter sido voltada para o indivíduo.

Consideramos que analisar o processo, isto é, a construção social do conhecimento por meio da modelagem seria mais relevante para entender *como* esse tipo de ensino pode favorecer a argumentação científica, pois como apresentado nos capítulos 1 e 2, estudamos a aprendizagem potencializada pela modelagem pensando não apenas no indivíduo, mas levando em consideração o plano social, isto é, as interações entre os alunos e entre alunos e professor, assim como e a relação das mesmas com a construção, avaliação e reformulação de modelos. Nesse sentido, nos focamos na análise dos dados de sala de aula. Entretanto, paralelamente, optamos por continuar o trabalho com as entrevistas, mas isto não será apresentado na tese. Julgamos que trabalhar com elas é importante porque, a partir das análises preliminares, constatamos contribuições para a literatura no que se relaciona à discussão da transferência de habilidades de um contexto ao outro. Isto foi também percebido pela banca do exame de Qualificação a partir das análise preliminares dos dados de dois alunos apresentadas no documento de Qualificação.

Portanto, nesta tese serão apresentados apenas os dados relativos à sala de aula e à criação de um instrumento para análise desses dados com o objetivo de *avaliar a qualidade dos argumentos de alunos do ensino médio a partir do Ensino de Química por modelagem fundamentado no diagrama Modelo de Modelagem e como a modelagem favoreceu a*

argumentação. Pretendemos alcançar tal objetivo discutindo as seguintes questões de pesquisa:

1. Qual a qualidade dos argumentos produzidos por estudantes de ensino médio ao participar de atividades de modelagem?
2. Existem diferenças na qualidade desses argumentos quando os estudantes participam de duas estratégias de ensino fundamentadas em modelagem? Em caso afirmativo, quais são elas?
3. Quais são as relações entre atividades de modelagem baseadas no diagrama Modelo de Modelagem e os argumentos produzidos pelos estudantes?
4. Como atividades de ensino fundamentadas em modelagem podem favorecer o desenvolvimento da argumentação dos estudantes?

Julgamos que essa investigação é relevante para o Ensino de Ciências, pois, como comentado anteriormente, não há trabalhos voltados especificamente para a análise da relação entre argumentação e modelagem na perspectiva adotada pelo nosso grupo de pesquisa.

CAPÍTULO 4: ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

4.1. COLETA DE DADOS

A coleta de dados teve início após aprovação para a realização da pesquisa pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais. Ela ocorreu durante o período de fevereiro a junho de 2009 em uma escola pública estadual, localizada na periferia de Belo Horizonte. A coleta de dados foi realizada pela pesquisadora Paula C. C. Mendonça e por uma assistente de pesquisa. A direção da escola, a professora e os estudantes (e, quando necessário, os responsáveis pelos estudantes com idade inferior a 18 anos) foram informados sobre os objetivos da mesma através de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndices 1 a 4) que lhes foram encaminhados e que foram devolvidos, devidamente assinados.

Considerando o histórico da evolução das questões de pesquisa apresentado no capítulo anterior, nesta tese não apresentamos os instrumentos utilizados nas entrevistas mencionadas nos TCLE e como foi a coleta de dados por meio desses instrumentos.

Julgamos que seria relevante pesquisar uma escola pública estadual por retratar bem as condições gerais de ensino do Brasil. Inicialmente, pensamos em trabalhar com algum professor que já tivesse frequentado nosso grupo de formação continuada de professores focado no ensino fundamentado em modelagem, mas isso não foi possível em função de fatores como incompatibilidade de horários e consentimento da escola para a realização de pesquisas. Assim, a escolha da escola se deu a partir da escolha da professora e de sua disponibilidade e interesse em participar da pesquisa devido aos objetivos da mesma. Isso ocorreu em janeiro de 2009. Escolhemos trabalhar com essa professora porque ela era licenciada em Química e especialista em Ensino de Ciências pela Universidade Federal de Minas Gerais, tinha seis anos de experiência como professora de Química, havia trabalhado em escolas públicas e particulares e com a pesquisadora em uma escola pública federal, que prioriza o ensino centrado no estudante, trabalhos colaborativos em grupo, atividades investigativas, enfim, um ensino diferente do tradicional. Apesar de a professora nunca ter trabalhado especificamente com modelagem na perspectiva adotada pelo nosso grupo de pesquisa, nós acreditávamos que, em função da experiência vivida na condução de atividades investigativas na escola pública federal, ela poderia ter desenvolvido algumas habilidades pedagógicas necessárias para a condução do ensino por modelagem.

No início de fevereiro de 2009, foram organizados dois encontros entre a professora e a pesquisadora para discussão sobre o ensino por modelagem anteriormente ao período de início de coleta de dados (resultando em 3h de discussão). Previamente a essas discussões, fornecemos à professora um texto com informações sobre o diagrama Modelo de Modelagem e seu uso no ensino. O texto continha informações similares às discutidas nos encontros: papel de modelos na ciência, papel da modelagem no Ensino de Ciências, as etapas e subetapas do diagrama Modelo de Modelagem. O material contendo as atividades da para o ensino de ligações iônicas também foi entregue para a professora para que ela conhecesse o mesmo antes de discutirmos especificamente cada atividade. Finalmente, vídeos com as aulas de modelagem aplicadas pela pesquisadora foram disponibilizados para a professora.

A aplicação das atividades teve início no mês de março de 2009, pois, de acordo com o cronograma da escola, entre os meses de fevereiro e maio o tema ligações químicas deveria ser discutido com os estudantes.

Durante a aplicação das atividades de ensino, nós nos reuníamos duas vezes por semana, nos horários vagos da professora na escola (o que totalizava cerca de 80 minutos semanais), para discutirmos especificamente sobre cada atividade de modelagem. Após esses encontros, a pesquisadora registrava todas informações mais importantes relativas aos aspectos discutidos.

Durante a aplicação das atividades de ligações iônicas, a professora e a pesquisadora decidiram aplicar as atividades de modelagem para introdução ao tema interações intermoleculares e combinaram que, antes disso, a professora iria introduzir o tema ligações covalentes, que era pré-requisito para a compreensão das interações intermoleculares, utilizando a metodologia que estava habituada a usar. As atividades dessa segunda estratégia de ensino também foram fornecidas previamente à professora para que ela pudesse examiná-las antes da discussão nas reuniões na escola.

A turma investigada era constituída por 38 alunos do segundo ano do ensino médio regular noturno. A escolha pela série se deveu à estruturação do currículo da escola, que previa o estudo de ligações químicas no segundo ano. A turma pesquisada era heterogênea quanto à idade, pois havia alunos na faixa etária regular esperada para a série (16 a 18 anos) e alunos em idade mais avançada (na faixa etária de 30 a 40 anos). A escolha pela turma se

deveu ao horário das aulas, pois aquela era a única turma da professora em que as três aulas de química semanais ocorriam em apenas dois encontros (quarta-feira de 20h30 às 21h10, e de 22h10 às 22h50, e sexta-feira de 20h30 às 21h10), o que viabilizava a coleta de dados.

Os alunos da turma pesquisada não estavam acostumados com aulas no qual tivessem que discutir em grupos e expressar suas ideias para toda turma. Eles também não tinham costume de realizar quaisquer tipos de experimentos na escola, apesar da existência de um laboratório de ciências bem equipado. De forma geral, o ensino da escola podia ser caracterizado como tradicional, no qual os alunos eram receptores de conhecimentos fornecidos pelo professor e/ou livro didático. Portanto, para eles, participar de atividades modelagem era algo totalmente novo.

Cerca de 70% da turma havia cursado o 1º ano do ensino médio naquela escola, em cujas aulas de química foram trabalhados os conteúdos: propriedades dos materiais, modelo de partículas, modelos atômicos, tabela periódica e aspectos qualitativos de reação química. Aquele ano, 2009, foi o primeiro em que a professora ministrou aulas de química para aqueles alunos.

A coleta de dados das aulas foi registrada em vídeo e através de notas de campo da pesquisadora e da cópia de todas as atividades escritas produzidas pelos estudantes. As aulas que envolveram atividades de modelagem foram realizadas no laboratório de ciências da escola. Durante a coleta de dados, os alunos se dispuseram em seis grupos livremente formados por eles, que ficaram organizados nas seis bancadas disponíveis no laboratório de ciências. A disposição dos grupos no laboratório e a posição das câmeras (representada por bonecos) são apresentadas na figura 4.1.

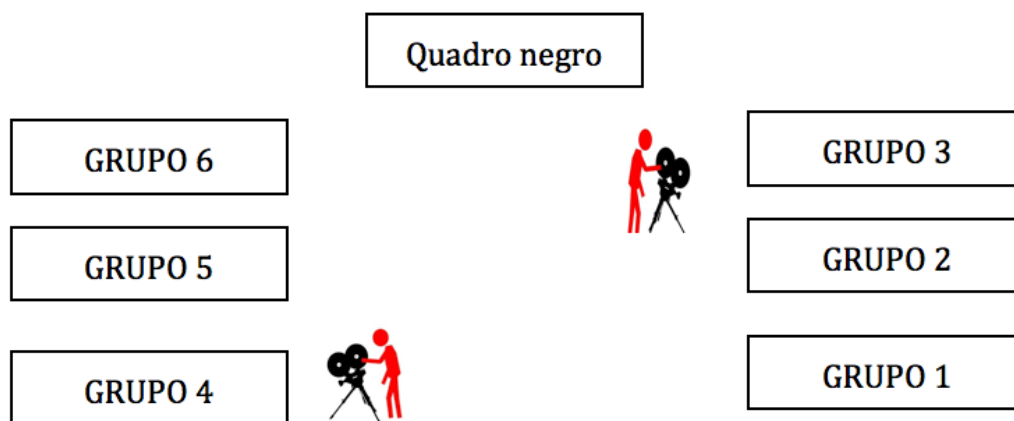


Figura 4.1. Disposição dos grupos e posição das câmeras durante as aulas.

Como evidenciado na figura 4.1, uma das pesquisadoras se posicionou entre os grupos 2 e 3, e a outra, próximo ao grupo 4. As pesquisadoras se posicionaram próximo a esses grupos para coletar dados dos alunos que haviam realizado as entrevistas pré-instrução³⁰.

Como comentado anteriormente, a professora aplicou atividades de ensino fundamentadas em modelagem para os temas ligações iônicas e interações intermoleculares. As atividades de ligações iônicas foram desenvolvidas durante os meses de março e abril, resultando em 18 horas/aula³¹. As atividades de interações intermoleculares foram desenvolvidas nos meses de maio e junho, resultando em 09 horas/aula. Uma descrição detalhada dos objetivos das atividades fundamentadas em modelagem é apresentada nos itens 4.2.1 e 4.2.2 deste capítulo.

4.2. PROPOSTA DE ANÁLISE DE DADOS: JUSTIFICATIVAS E INSTRUMENTOS

Esse trabalho visa investigar a relação entre atividades de modelagem fundamentadas no diagrama Modelo de Modelagem e os argumentos de estudantes de química do ensino médio. Inicialmente, para justificar a metodologia de análise de dados (apresentada a seguir) apresentamos uma análise teórica das relações entre as etapas envolvidas na modelagem e a argumentação que pode ocorrer em cada uma delas. Para estabelecer esse

³⁰ Tais alunos haviam sido escolhidos aleatoriamente entre aqueles que podiam chegar 40 minutos antes das aulas na escola para serem entrevistados.

³¹ Na escola pesquisada, cada hora/aula era de 40 minutos que, na prática, eram reduzidos a aproximadamente 35 minutos devido ao deslocamento dos estudantes até o laboratório.

relacionamento, fomos guiadas por trabalhos que comentam sobre a relação entre argumentação e modelagem (por exemplo, Bottcher & Meisert, 2010; Jiménez-Aleixandre, 2010; Windschitl et al., 2008), pelos roteiros de atividades que foram usados pelos estudantes nas aulas e por experiências passadas de aplicação das atividades em que eu era professora de química do ensino médio (e que serviram de piloto para esta tese).

Antes de apresentar a proposta de análise, é importante retomarmos as quatro etapas principais expressas no diagrama Modelo de Modelagem pensando-se numa situação de ensino. Na etapa 1 são dispostos os elementos que favorecerem a produção do modelo mental: *definir objetivos para o modelo*, que significa entender os objetivos definidos nas atividades; *ter experiência com o alvo*, isto é, observar propriedades do sistema em estudo, selecionar conhecimentos prévios e buscar dados; *selecionar a origem para o modelo*, isto é, identificar ideias e/ou modelos prévios e aplicá-los à nova situação e *produzir um modelo mental*, ou seja, conectar ideias, dados e modelos na produção de um modelo levando em consideração os propósitos previamente definidos. Portanto, nessa etapa esperamos que os estudantes busquem subsídios para os argumentos que possam ser usados para defender um modelo proposto em uma situação-problema. Espera-se que esse argumento seja apresentado em dois momentos principais: durante a elaboração do modelo consensual do grupo, enquanto cada aluno apresenta seu modelo individual e esses são discutidos (ocorrência simultânea das etapas 1 e 2 do diagrama Modelo de Modelagem) e durante a comunicação do modelo consensual do grupo à professora ou à turma (etapa 2: *expressar em algum dos modos de representação*). Na elaboração do modelo no grupo pode haver divergências de ideias, o que poderá conduzir a distintos modelos. Assim, poderá ser possível observar os argumentos favoráveis a um modelo e aqueles contrários a tal modelo.

Ao comunicar o(s) modelo(s) do grupo, à turma e/ou à professora, os alunos deverão apresentar argumento(s) para defesa do(s) modelo(s), situação que poderá conduzir à refutação de argumentos que sustentam modelos distintos.

Na etapa 3 (*conduzir experimentos mentais ou testes empíricos*), ocorrem os testes do(s) modelo(s). Nesse caso, se um modelo passar no teste, o grupo deverá apresentar argumento(s) de defesa do mesmo enfatizando a extensão em que tal modelo cumpre seu(s) objetivo(s). Caso um modelo não passe no teste, deverá ser produzida uma refutação ao mesmo (*rejeitar o modelo*) e proposto um novo modelo, que deverá ser defendido por outros argumentos. De acordo com Duschl, Ellenbogen e Erduran (1999), Jiménez-

Aleixandre (2010) e Bottcher e Meisert (2010), em situações em que o conhecimento é submetido à avaliação na existência de provas e razões para confrontá-lo, é bastante provável que haja argumentação. Em todas as possibilidades levantadas, é esperado que haja, no argumento, relacionamento de conhecimentos teóricos e/ou evidências de forma a demonstrar a credibilidade do modelo (Bottcher & Meisert, 2010). Caso o argumento seja de refutação, deve-se demonstrar porque o modelo não é capaz de explicar um determinado problema, inviabilizando o mesmo.

Por fim, na etapa 4, são verificadas as *abrangências e limitações do modelo* que atingiu o objetivo proposto. Nesse caso, espera-se chegar ao modelo consensual da turma. Nesse momento, será importante a proposição de argumentos favoráveis e contrários aos modelos discutidos na turma, principalmente, levando em consideração as várias linhas de raciocínio que emergem da estratégia de ensino por modelagem. Ao se chegar ao modelo consensual, será importante a proposição de argumentos que demonstrem o que o modelo explica e aquilo que ele não dá conta de explicar (o que pode ser feito a partir da análise de novos dados experimentais, por exemplo) e/ou de argumentos que evidenciem porque ele (ou partes dele) deve ser abandonado levando em consideração o modelo curricular. Em outras palavras, é necessário mostrar os dois lados do argumento (Abi-El-Mona & Abd-El-Khalick, 2011).

Após essa análise geral da relação entre modelagem e argumentação pensando-se numa situação de ensino, passamos à discussão sobre como as atividades de modelagem (Apêndices 5 e 6), podem influenciar, teoricamente, em temas de argumentação.

Posteriormente, apresentamos um diálogo com a literatura quanto aos instrumentos de análise empregados em pesquisas na área de Ensino de Ciências, o que, juntamente com a análise das atividades de modelagem, fundamentará nossas escolhas quanto aos instrumentos de análise.

4.2.1. Caracterização da Unidade Didática de Ensino de Ligação Iônica

As atividades fundamentadas em modelagem para o ensino de ligações iônicas são um dos frutos do meu trabalho de Mestrado (Mendonça, 2008). Elas já foram aplicadas em vários contextos de ensino distintos, situações que fundamentaram a análise crítica das mesmas, colaborando para possíveis modificações e reformulações, o que nos levou à elaboração da versão aplicada nesta pesquisa, que se encontra no Apêndice 5.

A Atividade 1 (classificar diferentes sistemas como modelo ou não e justificar) foi formulada com os objetivos de tornar claro o significado de modelo na ciência e de distingui-lo do significado cotidiano desta palavra. Tentar garantir que os estudantes entendam esses aspectos é algo importante levando em consideração as recomendações da literatura (Chittleborough, Treagust, Mamiala, & Mocerino, 2005; Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Saari & Viiri, 2003) que apontam que muitos alunos (i) pensam em modelos como cópias reduzidas da realidade; (ii) têm dificuldade de conceber a existência de múltiplos modelos para um mesmo fenômeno ou entidade; (iii) têm dificuldade de conceber o escopo e as limitações de modelos; (iv) geralmente, não utilizam modelos para realizar previsões; e (v) têm preferência por modelos concretos e simplificados. Assim, pensamos em sistemas que pudessem facilitar a discussão de aspectos importantes sobre modelos, contribuindo para modificar as possíveis concepções prévias dos alunos sobre o assunto. Julgamos ser muito importante para aqueles imersos num processo de modelagem discutir sobre o que são modelos, suas utilidades e suas limitações de forma mais geral, pois tal discussão pode ampliar seus conhecimentos sobre modelos na ciência, contribuindo para a aprendizagem sobre ciência. De acordo com Justi e Gilbert (2003), o estudante não altera sua visão sobre a natureza dos modelos como resultado da transmissão direta de definições formais ou do conhecimento de um modelo em particular. O que buscamos, então, foi uma atividade que atendesse a esses fins, que possibilitasse a emergência das principais ideias dos alunos sobre modelos, e que favorecesse a discussão das mesmas de forma que se chegasse a um consenso da turma.

A Atividade 2 foi proposta com o intuito de proporcionar aos estudantes um primeiro contato com a atividade de modelagem (que era algo totalmente novo para eles).

Assim, as duas primeiras atividades serviram para os estudantes terem um primeiro contato com modelagem e comecem a pensar sobre o que é um modelo na ciência. Além disso, elas foram importantes para favorecer a aproximação da pesquisadora com os alunos e para que os mesmos comesçassem a se acostumar com a presença da filmadora. Os dados obtidos durante a aplicação destas atividades não são analisados nesta tese. Considerando os objetivos deste estudo, nosso foco foi direcionado para a estória dos estudantes quando da proposição, teste e revisão de modelos para as ligações iônicas.

As demais atividades têm relacionamento explícito com o conteúdo de ligações químicas. A Atividade 3 foi pensada com o objetivo de oferecer aos estudantes (i) uma

noção geral sobre ligação química e energia a partir: do relacionamento quebra de ligações ocorrer com absorção de energia e a formação de ligações ocorrer com liberação de energia; (ii) da oportunidade de pensar na relação abaixamento de energia e estabilidade do sistema em função das ligações químicas; e (iii) da compreensão de ligação química como um equilíbrio de forças atrativas e repulsivas. Saber sobre a relação entre estabilidade, energia e ligações químicas é importante para que os estudantes tenham uma noção mais ampla do assunto, de forma diferente do ensino tradicional, no qual praticamente não se discute a estabilidade em termos energéticos, mas através de regras e classificações (Mortimer, Mol, & Paes, 1994). Essa Atividade foi pensada em relação à subetapa *ter experiências com o alvo* do diagrama Modelo de Modelagem, no sentido de desenvolver ou disponibilizar alguns dos pré-requisitos necessários à construção de modelos para substâncias iônicas (Atividade 5), à reformulação de modelos em virtude da análise de dados energéticos (Atividade 7) e ao entendimento da energia de rede (Atividade 8). Portanto, ao final desta atividade, espera-se que os estudantes possam usar a ideia de ‘menor conteúdo energético, maior estabilidade’ (advindo da discussão das observações experimentais) nas atividades seguintes de proposição, teste e revisão de modelos.

A Atividade 4 (propor um modelo para a formação de íons, em específico íons sódio e cloreto, utilizando dados de 1ª energia de ionização e afinidade eletrônica) foi formulada com o objetivo de levar os estudantes a relacionar a formação de íons com explicações envolvendo energia e forças de atração – ao invés de simplesmente utilizando regras, como a do octeto (muito comum e enfatizada no ensino tradicional) (Mortimer et al., 1994). Ela se relaciona à subetapa *ter experiências com o alvo*, no sentido de desenvolver ou disponibilizar alguns dos pré-requisitos necessários à construção de modelos para substâncias iônicas.

Na Atividade 5, os estudantes são solicitados a propor um modelo para a substância cloreto de sódio após a evaporação da água presente em uma solução de cloreto de sódio (etapas *produzir* e *expressar um modelo em alguns dos modos de representação*). Nessa atividade, os alunos são solicitados a expressar o modelo em diferentes formas: desenho (representação 2D), concreto (representação 3D), verbal e escrito. São propostas também questões para integrar o conhecimento prévio desenvolvido nas outras atividades (relacionamento entre forças de atração e repulsão, energia e estabilidade) e o modelo solicitado. Ao produzir e expressar o modelo, o estudante deve justificar porque seu modelo caracteriza o cloreto de sódio. Neste momento, devem aparecer argumento(s) para

defender cada tipo de modelo produzido no grupo ou na sala de aula. Segundo aplicações anteriores dessa proposta de ensino (Mendonça & Justi, 2009a, 2009b; Mendonça & Justi, 2011) e de acordo com a literatura (por exemplo, Taber, 1994, 1997), geralmente, os estudantes apresentam dois tipos de modelos: um similar a uma rede de íons que interagem entre si e outro no qual pares de íons interagem (par iônico ou 'NaCl molécula'). Para o modelo em rede, espera-se que os argumentos dos estudantes tenham como elementos justificatórios: a existência de interações entre cargas devido aos íons³² formados, a interação entre vários deles levar à estabilidade da substância, e a ocorrência de abaixamento de energia do sistema quando os vários íons se ligam. Por outro lado, é esperado que os estudantes justifiquem o modelo 'NaCl molécula' com base em modelos prévios, como o do octeto, que se relaciona à transferência de elétrons, e em suas ideias sobre a formação de moléculas. Eles podem levar em consideração vários elementos de natureza teórica e empírica disponibilizados pelas atividades ou advindos de seus conhecimentos anteriores na proposição de seus argumentos para defesa de um dos modelos.

Na Atividade 6, os estudantes têm a oportunidade de testar seus modelos quando são solicitados a utilizá-los para explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio. Portanto, essa atividade tem relacionamento com a etapa 3 do diagrama Modelo de Modelagem, pois favorece a *condução de experimentos mentais*. Caso os estudantes tenham construído um modelo 'NaCl molécula' eles devem refletir sobre a possibilidade de o mesmo ser capaz de explicar o motivo de o cloreto de sódio requerer grande quantidade de energia para se fundir. Caso consigam perceber incoerências em seus modelos, os estudantes devem propor um novo modelo que seja compatível com a evidência experimental. Se eles já tiverem proposto um modelo em rede anteriormente, podem testá-lo com o intuito de perceber se ele explica o dado experimental, o que constitui uma evidência para o argumento de defesa ao modelo. No caso do teste da propriedade física, julgamos importante que esse dado seja explicitamente levado em consideração nos argumentos apresentados, uma vez que isto evidenciaria uma compreensão dos estudantes sobre o objetivo da atividade e por atingir um dos principais objetivos da argumentação no contexto da modelagem, que é avaliar modelos para determinar se eles se ajustam aos dados, isto é, a potencialidade dos mesmos frente à realidade (Bottcher & Meisert, 2010; Bravo Torija & Jiménez-Aleixandre, 2010; Giere, 2001).

³² Segundo Taber (2000), o conhecimento sobre interação eletrostática tem origem tácita.

A Atividade 7 oferece nova oportunidade para o teste do modelo (análise de dados energéticos: quantidade de energia liberada na formação de um mol de pares Na^+Cl^- e de um mol de uma rede de íons). Portanto, ela também se relaciona com a etapa 3 do diagrama Modelo de Modelagem (*testar o modelo através da condução de experimentos mentais*). Em outros termos, ela se constitui em uma nova chance para confirmar a validade dos modelos em rede a partir de argumentos que utilizem dados e/ou justificativas teóricas e para descartar modelos 'NaCl molécula' a partir da discrepância dos mesmos com as evidências. Aqui esperamos que os estudantes possam propor argumentos mais fundamentados para o modelo defendido, pois poderão levar em consideração as evidências dos testes (dois tipos de dados secundários) para fundamentar os mesmos.

É importante destacar que nas Atividades 6 e 7 os estudantes têm a oportunidade de refletir sobre suas ideias prévias (expressas no modelo) a partir de dados – algo apontado pela literatura (por exemplo, Chinn & Brewer, 1998) como extremamente importante para termos indícios da visão epistemológica dos sujeitos a respeito do papel de dados na construção do conhecimento científico ou para perceber a relação entre uso de dados e conhecimento prévio (Hug & McNeill, 2008; Kerlin et al., 2010). Em outras palavras, é possível perceber como o estudante lida com um dado que pode, ou não, ser percebido como anômalo ao seu modelo.

A Atividade 8 foi construída com o intuito de ampliar os conhecimentos dos estudantes sobre ligação iônica, de forma a possibilitá-los usar o modelo para explicar a dureza e tenacidade de compostos iônicos. Além disso, ela solicita o cálculo da energia de rede do cloreto de sódio, o que favorece a retomada de conhecimentos desenvolvidos durante o processo e de uma justificativa para a estabilidade da substância a partir de dados termodinâmicos – e não a partir de regras usuais (estabilidade a partir do octeto e ligação iônica como transferência de elétrons) como no ensino tradicional (Taber, 1994, 1997). Assim, ela se relaciona à etapa 4 do diagrama Modelo de Modelagem (avaliação da abrangência e das limitações do modelo). Essa atividade também não é analisada na tese, pois não foi possível sua realização na sala de aula. A professora apenas discutiu aspectos presentes na mesma quando recapitulou o estudo de ligações iônicas em uma aula de fechamento do assunto com caráter mais expositivo e menos aberta à participação dos estudantes. A professora tomou essa decisão em virtude do tempo disponível frente ao cronograma de avaliações da escola.

4.2.2. Caracterização da Unidade Didática de Ensino de Interações Intermoleculares

As atividades de modelagem para introdução ao tema interações intermoleculares foram propostas no contexto de um grupo de formação continuada de professores de Química fundamentado em modelagem em 2006. Nesse grupo, após discussões sobre modelos, modelagem, diagrama Modelo de Modelagem e apresentação das estratégias para o ensino de ligação iônica (Mendonça & Justi, 2009a) e equilíbrio químico (Maia & Justi, 2009b), os professores tiveram as tarefas de produzir uma estratégia para o ensino de algum tema químico que julgassem de difícil compreensão pelos estudantes do ensino médio e, posteriormente, de aplicar a estratégia em suas condições reais de ensino.

Um dos temas escolhidos foi interações intermoleculares, em específico, a dificuldade dos estudantes em diferenciar interações interatômicas de intermoleculares. A estratégia de ensino desenvolvida foi aplicada por dois professores do grupo de formação continuada e, no ano seguinte, por mim. A análise crítica dos resultados dessas aplicações subsidiou a proposição de alterações na estratégia de forma a torná-la cada vez mais clara para os estudantes e propícia para o desenvolvimento do entendimento deles a respeito da distinção entre interações interatômicas e intermoleculares. Tais alterações resultaram na versão utilizada pela professora nesse estudo (apresentada no Apêndice 6).

Na Atividade 1, os estudantes devem aquecer duas substâncias – iodo e grafite – e comparar seus comportamentos durante esses processos. Esse experimento objetiva proporcionar o conhecimento da existência de substâncias químicas formadas pelo mesmo tipo de ligação (covalente), mas que apresentam propriedades bastante diferentes. Essa Atividade apresenta relação com a subetapa *ter experiências com o alvo*, porque fornece informações sobre o comportamento dos sistemas em estudo. Como os estudantes são solicitados a fazer previsões antes de realizar o experimento, torna-se possível investigar como eles lidam com dados e teorias.

Na Atividade 2, os alunos devem propor modelos submicroscópicos para as substâncias iodo e grafite que expliquem suas ligações antes e depois do aquecimento. Espera-se que eles relacionem as propriedades observadas para iodo e grafite às ligações presentes em sua estrutura (a partir da reflexão sobre o papel da energia fornecida). A Atividade tem relação com as etapas 1 e 2 (*expressar e elaborar modelos mentais*). Nesse

caso, como comentado anteriormente, os estudantes devem apresentar os argumentos para defesa do modelo do grupo (caso seja consensual), ou refutações para modelos contraditórios no próprio grupo ou na turma (durante a socialização dos mesmos). Julgamos importante que os estudantes levem em consideração as evidências obtidas na Atividade 1 (comportamento dos sólidos frente ao aquecimento) e as utilizem em seus argumentos, pois isto demonstraria um bom entendimento daquela Atividade e um argumento de melhor qualidade pela relação do modelo com as evidências. Segundo a literatura (Furió & Catalayud, 1996; Peterson & Treagust, 1989) e dados de aplicações anteriores da proposta de ensino (Mozzer, Queiroz, & Justi, 2007), geralmente, os estudantes pensam em dois modelos: um que enfatiza rompimento de interações interatômicas no iodo e outro que enfatiza rompimento de interações intermoleculares. Portanto, são esperados argumentos em relação a cada um desses modelos. No primeiro caso, geralmente, os argumentos se baseiam nas ligações covalentes efetuadas pelos átomos de iodo e carbono e na força dessas ligações em virtude do número de elétrons compartilhados. No segundo caso, geralmente, os estudantes raciocinam com base no rompimento de interações interatômicas, pois interpretaram diferentemente as evidências experimentais: o iodo não deve romper as ligações covalentes porque requer baixa energia para fundir quando comparado ao grafite.

Na Atividade 3, os alunos devem analisar a coerência do modelo elaborado para o iodo frente às novas evidências empíricas (reação do iodo com amido). O experimento foi proposto com o intuito de evidenciar que o aquecimento do iodo promove o rompimento das interações entre as moléculas de iodo (I_2), e não entre os átomos de iodo ($I-I$), o que poderia levar a reformulações de modelos que enfatizam quebra de interações interatômicas e comprovação dos modelos que enfatizam quebra de interações intermoleculares. Portanto, essa Atividade favorece a *condução de experimentos mentais e empíricos*, avaliando o modelo anterior frente às novas evidências experimentais e uma possível *modificação do modelo mental*, quando ocorrer a constatação de limitações/inconsistências percebidas a partir dos novos dados empíricos. Espera-se que através do teste, os estudantes proponham argumento(s) a favor do modelo que demonstra rompimento de interações intermoleculares. Após os dois testes, o(s) argumento(s) devem ser relacionados às evidências obtidas nas Atividades 2 e 3 para defesa (rompimento de interação intermolecular) ou rejeição de um modelo (rompimento de interação interatômica).

Na Atividade 4, os estudantes devem elaborar um modelo para explicar o que ocorre quando o açúcar é aquecido (fusão e caramelização) levando em consideração os aspectos energéticos envolvidos nesses processos. O objetivo desta Atividade é proporcionar reflexões sobre 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. A Atividade 4 pode se relacionar com a etapa de avaliação de abrangência e limitações do modelo, caso os estudantes já tenham proposto um modelo que considera a existência de interações intermoleculares (mesmo que esta não seja a nomenclatura usada por eles). Entretanto, caso os alunos ainda não tenham elaborado tal modelo, essa atividade pode favorecer a etapa de *testes do modelo anterior*, porque fornece novas informações sobre o comportamento de outra substância molecular a partir das evidências empíricas e solicita a explicação de uma nova situação envolvendo outra substância molecular explicitando as relações entre energia e interações intermoleculares e interações interatômicas em compostos moleculares. Nesse caso, é interessante verificar como o estudante lida com um dado anômalo em relação a seu modelo anterior, isto é, como ele reestrutura seu pensamento de que em um composto molecular a energia gasta para romper as interações interatômicas pode ser próxima àquela que rompe interações intermoleculares. Na revisão do modelo, espera-se que haja um argumento que qualifique em que situações o modelo que demonstra rompimento de interações intermoleculares pode ser usado para um composto molecular. Por exemplo, para compostos moleculares, requer-se menos energia para a fusão porque há rompimento de interações intermoleculares, em comparação aos covalentes, mas pode ser que a energia seja gasta para romper as ligações interatômicas se ela for muito próxima àquela associada às interações intermoleculares.

A Atividade 5 visa ampliar o conhecimento dos estudantes, pois até a Atividade 4 espera-se cumprir o objetivo da estratégia de ensino, que é diferenciar as interações interatômicas das intermoleculares. Nela, os alunos devem explicar as diferenças de temperaturas de fusão e de ebulição de diversas substâncias moleculares com base no modelo de ligação proposto para estas e a partir do relacionamento com a magnitude das forças das interações existentes em diferentes compostos moleculares. Nesta atividade, os alunos têm a oportunidade de analisar vários dados secundários e de avaliar a abrangência e as limitações de seu modelo. A Atividade 5 não é analisada nesta tese, pois a professora da turma não pôde aplicá-la devido a questões relacionadas ao cronograma e aos seus

objetivos naquela circunstância. Ao invés disso, ela usou brevemente os dados disponibilizados na Atividade para diferenciar os tipos de interações intermoleculares, sendo a aula mais expositiva e com menor participação dos estudantes. Segundo a mesma, ela não julgava tão relevante detalhar os tipos de interações intermoleculares, pois isto poderia ser retomado em maior nível de complexidade no ano posterior, quando os alunos estudariam o tema novamente. Para ela, a diferenciação de interação intermolecular e interatômica era o aspecto mais complexo para ser ensinado e aprendido pelos estudantes naquele momento.

4.2.3. Considerações da Literatura e Instrumentos de Análise de Dados

O modelo de Toulmin poderia ser usado para análise dos elementos do argumento e da natureza das justificativas porque ele tem essa finalidade e por geralmente ser usado em vários estudos da área de Ensino de Ciências com este objetivo (Capecchi & Carvalho, 2000; Jiménez-Aleixandre et al., 2000; Sá & Queiroz, 2007). Entretanto, como comentado na seção 2.7, alguns pesquisadores têm enfatizado as dificuldades no uso deste modelo, por exemplo, para diferenciar garantia de apoio. Julgamos que, para nossos objetivos de pesquisa, essa distinção não é relevante. Assim, não seria interessante nos debruçar em um trabalho árduo como é o dessa distinção, como apontado pela literatura (Erduran, 2008), para algo que não nos auxiliaria efetivamente na discussão das questões de pesquisa. Considerando as questões de pesquisa que orientam este trabalho, é mais importante identificar se o estudante apresenta um ponto de vista que seja subsidiado por alguma justificativa, isto é, algum motivo ou razão (por exemplo, dados empíricos, relações de causa e efeito, relações analógicas etc.) e caracterizar como ele faz isto.

Outro argumento relativo à exclusão do modelo de Toulmin de nossa análise se relaciona ao fato de um argumento poder ser sólido de acordo com o modelo, em virtude de ser subsidiado por vários elementos com características justificatórias (apoio, conhecimento básico), mas ser pobre em conceitos científicos relevantes para a resolução do problema (Sampson & Clark, 2008). A base estrutural conceitual é um critério essencial em argumentos de natureza científica envolvidos na modelagem (Bottcher & Meisert, 2010), como os que lidaremos nesta tese. Zohar e Nemet (2002) e Sandoval e Millwood (2005) concordam sobre essa relevância. Em seus trabalhos, eles analisaram se os estudantes utilizaram ou não conhecimentos científicos específicos e não específicos nos argumentos envolvendo genética humana e seleção natural, respectivamente. No caso dos problemas relacionados às atividades de modelagem, deve ser pertinente observar o uso de

conhecimentos científicos apropriados porque não pensamos que as questões propostas nesses problemas possam ser resolvidas racionalmente sem o uso de conhecimentos de ordem científica ou que possa ser possível recorrer a conhecimentos de outras naturezas (econômicos, políticos etc.) como ocorre com questões sócio-científicas.

Nesse sentido, como não focaremos em cada elemento do argumento segundo Toulmin e ao mesmo tempo, desejamos avaliar a natureza das justificativas, torna-se necessário pensar em quais são os principais constituintes do argumento científico desejável que os alunos desenvolvam e usem no contexto do Ensino de Ciências voltado para a educação científica – o que chamaremos de **argumento científico curricular**³³ (definido a seguir) que, por sua vez, terá relações com categorias analíticas campo-dependentes e relacionadas à natureza do conhecimento científico. Para isso, nos inspiramos nos trabalhos de Sandoval e Millwood (2005, 2008) que lidam com dois aspectos principais na análise de argumentos científicos:

- Conceitual: articulação teórica e articulação com dados.
- Epistemológico: dados suficientes; coerência causal e referência retórica.

Segundo Sandoval e Millwood (2005, 2008), estudantes devem ser capazes de articular suas conclusões com estruturas teóricas e justificá-las com dados. Somado a isso, esses autores chamam a atenção para a necessidade de os estudantes citarem dados suficientes e relevantes para o problema e articulá-los de forma coerente, a partir de elementos retóricos apropriados, produzindo uma teoria causal.

Dentre outros trabalhos que utilizaram critérios campo-dependentes (por exemplo, Kelly et al., 2008; Zohar & Nemet, 2002), julgamos que os de Sandoval e Millwood são os que podem contribuir mais para nosso instrumento de análise, devido a ênfase no poder explicativo e suficiente das explicações potencializadas pela argumentação (Sampson & Clark, 2008).

Neste momento, julgamos relevante destacar o que pensamos ser um argumento científico e um argumento científico curricular para, posteriormente, destacarmos a relação dessa última definição com o instrumento de análise de argumentos.

³³ Em analogia ao *modelo curricular*, definido por Gilbert, Bouter e Elmer (2000) como uma simplificação do modelo científico que se espera que os alunos aprendam em um dado contexto escolar.

Como comentado no capítulo 2, a argumentação está diretamente relacionada a *justificações* e *persuasões* (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008). A argumentação como justificação implica no compromisso com evidências em escolhas teóricas a partir da racionalidade empregada no processo. A argumentação como persuasão implica em movimentos retóricos empregados na fala e na escrita sobre ciência com o objetivo de ponderar e dar forças às conclusões visando o convencimento. Nesse sentido, um **argumento científico** pode ser definido como uma afirmação devidamente subsidiada por justificativa(s) de natureza empírica e teórica. A afirmação terá um maior grau de força em termos do número e da qualidade dos movimentos de conexão (*coordenação, coerência e progressiva construção* das linhas de raciocínio) entre dados e teorias (Kelly et al., 2008). Consideramos que o **argumento científico curricular** se difere do argumento científico por apresentar menor número e menor complexidade das linhas de raciocínio. Em outras palavras, o argumento científico apresenta uma maior convergência entre justificativas teóricas e evidências para dar mais suporte à afirmação. No ensino (principalmente tratando-se de ensino médio), nos consideramos satisfeitos quando o aluno é capaz de afirmar a partir da conexão de estrutura(s) teórica(s) e alguma(s) evidência(s) relevante(s), porque, geralmente, não proporcionamos ao aluno condições de raciocinar com base em vários tipos de dados, assim como o cientista o faz na ciência (até porque, muitas vezes isto seria impossível frente aos conhecimentos prévios dos alunos e situações reais de sala de aula). Entretanto, acreditamos que, se articulado de forma adequada e intensamente (Jiménez-Aleixandre, 2008), o ensino pode proporcionar ao estudante o desenvolvimento de algumas linhas de raciocínio quando ele é capaz de estabelecer conexões entre suas estruturas teóricas e as evidências. Também julgamos que nós, professores, ficamos satisfeitos quando os estudantes percebem que evidências geradas de dados empíricos não provam que um conhecimento científico é verdadeiro, mas mostram que aquele conhecimento é válido e que há diferentes pesos a serem atribuídos a uma conclusão em função da ponderação das evidências disponíveis. Por isso, esperamos que a persuasão utilizada se baseie nessas relações, pois, como o próprio Sandoval (2008) afirma, os níveis mais elevados de elementos retóricos são mais comuns em profissionais que escrevem textos científicos.

Por sua vez, um argumento científico relacionado à modelagem pode ser entendido como uma justificativa que visa demonstrar a adequação de um modelo frente à realidade. As evidências são entendidas como aspectos da realidade aos quais o modelo deve ser capaz

de se ajustar. As justificativas teóricas têm relação com modelos e conhecimentos prévios. A conexão das justificativas teóricas e empíricas deve ocorrer de forma a demonstrar a coerência do modelo frente a um objetivo, isto é, argumentos são indicadores a favor e contra a escolha de um modelo (Bottcher & Meisert, 2010; Giere, 1999). No contexto de sala de aula, os argumentos científicos curriculares relacionados à modelagem se diferem dos científicos com relação ao número menor de aspectos da realidade que o modelo é capaz de explicar e quanto à coerência lógica mais simples no relacionamento das justificativas teóricas e empíricas.

Enfatizamos que, nas atividades de modelagem, consideramos que uma evidência³⁴ (aquilo que *fornece* ou *contribui para fornecer prova* da existência ou da ocorrência de algo) é algo que o aluno observa, que vem de uma experiência (realizada no momento da atividade ou prévia, do cotidiano) **ou** um dado que foi obtido em um experimento.

Como raciocínio necessário nas justificativas, além da causalidade destacada por Sandoval e Millwood, também julgamos relevante o raciocínio analógico por este ser inerente ao pensamento científico. Isto foi constatado, por exemplo, nos estudos realizados por Clement (2008a) nos quais são destacados o emprego desse tipo de raciocínio quando os cientistas resolvem problemas inusitados. Por ser um raciocínio que faz parte da ciência e que, portanto, é inerente à argumentação científica, julgamos que ele deve ser uma tipologia do argumento científico curricular. Esse tipo de raciocínio também é defendido por autores do campo da argumentação, como Walton (1996), ao classificar as tipologias de argumento presentes no domínio da lógica informal e por autores do campo de Ensino de Ciências, como Duschl (2008), ao classificar a analogia (com base nas ideias de Walton (1996)) como operação epistêmica que fornece indícios sobre 'o que conta' para estudantes como justificativa para os argumentos.

Pensamos também em focar os elementos retóricos devido às considerações da literatura, por exemplo, a pesquisa de Berland e Reiser (2009) sobre o engajamento de estudantes em atividades de construção de explicações a partir de argumentação. Na opinião dos autores, a escola tradicional não encoraja os estudantes na articulação entre explicações com a perspectiva de defendê-las em relação a outras possíveis. Como constataram Jiménez-Aleixandre et al. (2000), em algumas situações a escola cobra e os

³⁴ Dados empíricos podem corresponder a evidências ou podem ser recortados de modo a se selecionar apenas aqueles que contribuem para provar algo (como comentado no capítulo 2).

estudantes são treinados a fazer tarefas relacionadas a cultura escolar ('doing the lesson' ou 'doing school') ao invés de oferecer oportunidades de engajamento na prática científica ('doing science'). A premissa de Berland e Reiser (2009) foi comprovada na pesquisa realizada por eles, que evidenciou a falta de atenção dos estudantes quanto à persuasão em seus argumentos. Para os autores, a persuasão requer que os estudantes pensem numa audiência para seus argumentos, numa prática social – algo que não é comum nas escolas, no qual o objetivo, frequentemente, é o estudante apresentar a resposta correta. Pelo que pudemos observar na literatura, pesquisadores que têm analisado elementos retóricos, geralmente o fazem para argumentos escritos (Kelly et al., 2008). Nesta análise, tentaremos perceber os elementos retóricos nos argumentos apresentados pelos estudantes e se as características das atividades e da sala de aula influenciam nisso.

A partir dessas considerações, buscamos discutir as questões de pesquisa no que tange à relação da modelagem com o nível dos argumentos a partir do instrumento fundamentado nos critérios de análise apresentados no quadro 4.1.

Nível e tipo de argumento		Descritor
Nível 1	Teórico – causal (1.T-C)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada em conhecimento teórico e que demonstra uma relação causal.
	Teórico – analógico (1.T-A)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada em conhecimento teórico e que demonstra uma relação analógica.
	Empírico – causal (1.E-C)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada em dado empírico e que demonstra uma relação causal.
	Empírico – analógico (1.E-A)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada em dado empírico e que demonstra uma relação analógica.
	Representacional – analógico (1.R-A)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada em representação e que demonstra uma relação analógica.
Nível 2	Teórico – causal (2.T-C)	Argumento subsidiado por justificativa embasada em mais de um conhecimento teórico e que demonstra uma relação causal.
	Empírico – causal (2.E-C)	Argumento subsidiado por justificativa embasada em mais de um dado empírico e que demonstra uma relação causal.
Nível 3	Teórico – empírico – causal (3.T-E-C)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada na conexão entre conhecimento(s) teórico(s) e dado(s) empírico(s) e que demonstra relação causal.
	Teórico – empírico – analógico (3.T-E-A)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada em conhecimento(s) teórico(s) e dado(s) empírico(s) e que demonstra relação analógica.
	Teórico – empírico – analógico – causal (3.T-E-A-C)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada na conexão causal de conhecimento(s) teórico(s) e dado(s) empírico(s) e que demonstra relação analógica.
Nível 4	Teórico – empírico – causal – retórico (4.T-E-C-R)	Argumento subsidiado por uma justificativa embasada na conexão de conhecimento(s) teórico(s) e dado(s) empírico(s), que demonstra relação causal e que está estruturado com base em um ou mais elemento(s) retórico(s).
	Teórico – empírico – analógico – retórico (4.T-E-A-R)	Argumento analógico subsidiado por uma justificativa embasada em conhecimento empírico e teórico que demonstra a(s) abrangência(s) e/ou limitação(ões) da analogia (o que consideramos ser o elemento retórico).

Quadro 4.1. Critérios que fundamentam o instrumento utilizado para analisar o nível do argumento científico curricular em atividades de modelagem.

A seguir, exemplificamos cada um dos descritores para avaliar a qualidade do argumento científico curricular. Esses exemplos foram coletados em registros de aplicações anteriores das estratégias de ensino quando eu era professora de química do ensino médio. Inicialmente, apresentamos os códigos utilizados. A conclusão é apresentada em **negrito**; a justificativa com caráter teórico é apresentada sublinhada com traço simples; a justificativa com base empírica é apresentada sublinhada com traço duplo; a justificativa baseada em representação é apresentada com um traço descontinuo; e o elemento que demonstra persuasão é apresentado em *itálico*. Em colchetes são apresentados o número de elementos justificatórios quando esses aparecem mais de uma vez. Entre parênteses são apresentados os domínios alvo e análogo do argumento analógico. Quando há causalidade no argumento analógico, isso é representado por letras em caixa alta.

É importante destacar que, ao propor seus primeiros modelos (quando ainda não tem outros dados para testá-los), o estudante pode utilizar conhecimentos científicos que sejam incoerentes com o modelo científico aceito atualmente, mas o raciocínio utilizado por ele deve ser coerente com seus conhecimentos naquele momento (como evidenciado nos exemplos a seguir). Portanto, avaliaremos a coerência do argumento em relação ao modelo ao longo do processo de ensino, o que implica que, ao final das estratégias, esperamos que o estudante saiba justificar porque o modelo consensual mais próximo ao curricular é o mais coerente. A opção da avaliação da plausibilidade dos modelos e argumentos é coerente com o trabalho de Bottcher e Meisert (2010) sobre argumentação envolvida em modelagem. Assim, nos propomos a avaliar o argumento no processo de construção do mesmo. A avaliação do argumento relacionado a um modelo visa diminuir as dificuldades relatadas pela literatura (Bottcher & Meisert, 2010; Kelly et al., 1998; Sampson & Clark, 2008) no que se refere a unidade do argumento, isto é, quando começa ou termina um argumento.

Classificamos os argumentos que demonstram causalidade (com justificativa empírica ou teórica) e raciocínio analógico (com justificativa empírica, teórica ou representacional) como sendo *argumentos científicos curriculares de nível 1* porque há apenas um tipo de relação conclusão-justificativa. A classificação em justificativa do tipo representacional ocorre quando não é feita qualquer menção a um conhecimento teórico que explica a representação adotada. Para os argumentos analógicos, apresentamos o esquema de argumento analógico de Walton (comentado no item 2.7.3 desta tese) para facilitar a compreensão do raciocínio analógico e, portanto, a classificação do argumento. Os exemplos a seguir ilustram os descritores:

1.T-C: **“O modelo para o iodo é aquele que demonstra rompimento de ligações entre átomos, porque há estabelecimento apenas de uma ligação covalente entre os átomos”.**

1.T-A: “Se I_2 (domínio análogo) é molecular, logo $C_{12}H_{22}O_{11}$ (domínio alvo) é **molecular**”.

Premissa de similaridade: A substância iodo tem fórmula definida assim como o açúcar.

Premissa base: I_2 é molecular.

Conclusão: Então, $C_{12}H_{22}O_{11}$ é molecular.

1.E-C: **“O cloreto de sódio é uma rede, pois quando se forma um agregado libera-se mais energia do que quando se forma um par”.**

1.E-A: “Amido reage com iodo da solução (domínio análogo), logo **vai reagir com iodo ao ser aquecido** (domínio alvo).”

Premissa de similaridade: Iodo da solução alcoólica reage assim como iodo sólido ao ser aquecido.

Premissa base: Iodo da solução reage com amido.

Conclusão: Então, iodo ao ser aquecido reage com amido.

1.R-A: “Se iodo (domínio análogo) é representado como I_2 , logo **grafite** (domínio alvo) é **C_2** ”.

Premissa de similaridade: Grafite deve ser representado como iodo.

Premissa base: Iodo é I_2 .

Conclusão: Então, grafite é C_2 .

Argumentos científicos curriculares de nível 2 apresentam mais de um conhecimento de ordem teórica ou empírica, como mostram os exemplos:

2.T-C: **“O modelo para o iodo é aquele que demonstra rompimento de ligações entre átomos, porque o iodo estabelece apenas uma ligação covalente simples entre os átomos [1], enquanto que o carbono estabelece duas ligações duplas”³⁵ [2].**

³⁵ Para saber o número de ligações efetuadas por um átomo, o estudante deve ter conhecimentos relacionados à tabela periódica, elétrons de valência e compartilhamento de elétrons na ligação covalente. Relacionamos todos esses conhecimentos em um único tipo que se refere ao número de ligações covalentes efetuadas como argumento para a força da ligação. Quando é feita uma ponderação entre o número de ligações efetuadas pelo iodo em relação ao carbono, especificando o número de ligações e a natureza delas (simples ou duplas) como sendo o argumento para justificar o

2.E-C: **“O cloreto de sódio é uma rede, pois a temperatura de fusão é elevada [1] e gasta-se mais energia para formar o agregado do que o par de íons” [2].**

Argumentos científicos curriculares de nível 3 apresentam justificativas empíricas e teóricas. No caso dos argumentos causais, elas estão relacionadas, como evidenciado pelos exemplos:

3.T-E-C: **“Apenas o modelo com rompimento de interações entre I_2 explica o comportamento do iodo (aquecimento, temperatura de fusão) porque as ligações covalentes são fortes e as interações entre as moléculas mais fracas”³⁶.**

No caso do argumento analógico, as justificativas empírica e teórica podem não ter uma relação causal entre elas. Quando isso ocorre, o argumento é classificado como 3.T-E-A, como evidenciado pelo exemplo:

3.T-E-A: **“Se I_2 (domínio análogo) funde a baixa temperatura [1] e é molecular [2], logo $C_{12}H_{22}O_{11}$ (domínio alvo) funde a baixa temperatura e é molecular”.**

Premissa de similaridade: I_2 tem fórmula definida como $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Premissa base: I_2 funde a baixa temperatura e é molecular.

Conclusão: Então, $C_{12}H_{22}O_{11}$ funde a baixa temperatura e é molecular.

Quando há relação causal entre as justificativas empírica e teórica, o argumento é analógico e causal, o que corresponde ao tipo 3.T-E-A-C, exemplificado a seguir:

3.T-E-A-C: **“Se I_2 (domínio análogo) FUNDE A BAIXA TEMPERATURA [1] E, POR ISSO, É MOLECULAR [2], logo $C_{12}H_{22}O_{11}$ (domínio alvo) funde a baixa temperatura e, por isso, é molecular”.**

Premissa de similaridade: I_2 tem fórmula definida assim como $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Premissa base: I_2 funde a baixa temperatura e, por isso, é molecular.

modelo, o estudante faz uso de mais de um tipo de conhecimento (a ligação dupla ser mais forte do que a simples).

³⁶ Nesse caso, delimitamos o conhecimento teórico e o empírico, mas um pode implicar no outro, uma vez que é o comportamento do iodo observado experimentalmente que irá levar à conclusão sobre as forças das ligações e interações. As ideias de molécula, ligações e interações formam a base teórica mais explícita. Apenas observando todo o discurso – e não apenas argumentos isolados – é que poderemos fazer julgamentos mais precisos sobre a natureza teórica ou empírica do conhecimento. Em alguns casos, a conexão entre eles é que será o mais importante, visto que ela resultará em um argumento de nível mais elevado.

Conclusão: Então, $C_{12}H_{22}O_{11}$ funde a baixa temperatura e, por isso, é molecular.

Argumentos científicos curriculares de nível 4 apresentam justificativas empíricas, teóricas e elementos retóricos. No caso do argumento causal, isso ocorre quando se defende um modelo em relação ao outro, demonstrando maior plausibilidade do primeiro em função das evidências, como mostra o exemplo:

4.T-E-C-R: “**Apenas o modelo com rompimento de interações entre I_2 explica o comportamento do iodo (temperatura de fusão) demonstrando que as ligações covalentes entre átomos de iodo são fortes e as interações entre as moléculas mais fracas. O modelo com rompimento de interações entre átomos de iodo não explica os dados porque o iodo retorna ao estado sólido ao ser resfriado.**”

Consideramos que o elemento retórico de um argumento analógico está associado às abrangências e/ou limitações das relações analógicas estabelecidas entre alvo e análogo, como evidenciado pelo exemplo:

4.T-E-A-R: “Iodo (domínio análogo) é molecular, grafite (domínio análogo) **não deve ser molecular, a menos que grafite sofra fusão ao ser aquecido pela chama de uma lamparina**”.

Premissa de similaridade:	Iodo não se comporta como grafite durante aquecimento.
Premissa base:	Iodo é molecular.
Conclusão:	Então, grafite não é molecular.
Abrangência/limitação da analogia:	A menos que grafite sofra fusão ao ser aquecido pela chama de uma lamparina.

Além da análise dos níveis dos argumentos, observamos como os estudantes usaram os dados empíricos em seus argumentos e modelos, principalmente nas situações de previsões e testes em que era possível ao estudante lidar com *dados anômalos* (quando seu modelo não explicava determinado dado empírico). Deixamos claro que os dados disponibilizados nas atividades de modelagem [Atividade 6 e 7 de ligações iônicas (temperatura de fusão do NaCl e energia liberada na formação de par e agregado iônico, respectivamente), e Atividades 1, 3 e 4 de interações intermoleculares (aquecimento do iodo e grafite, reação do iodo com amido e aquecimento do açúcar, respectivamente)] para sustentar ou refutar os modelos através dos argumentos podem ser selecionados a partir da

análise de enunciados que contêm os dados secundários (Atividades 6 e 7) ou a partir da análise dos experimentos realizados (Atividades 1, 2 e 3) (dados primários). Portanto, eles servem como *evidências* para os argumentos no sentido proposto por Bravo, Puig, Jiménez-Aleixandre (2009), isto é, na avaliação de se a afirmativa está certa ou errada (no nosso caso, se os modelos são coerentes ou não) e se a afirmativa se distingue de meras opiniões.

Para perceber como os estudantes lidam com dados em seus modelos, utilizamos os critérios estabelecidos por Chinn e Brewer (1998) sobre a reflexão de cientistas quanto à análise de teorias prévias a partir de dados e o teste destas categorias aplicadas à análise de dados de estudantes de graduação que foram solicitados a averiguar a adequação de suas teorias prévias a dados. Assim, um sujeito pode:

- (a) *ignorar os dados*: não acreditar neles e não se importar em tentar explicá-los, o que implica em não haver modificação de ideias, modelos e teorias;
- (b) *rejeitar os dados*: negar os dados, por dizer que não são válidos. Geralmente, o aluno oferece uma explicação sobre o motivo de os dados não serem válidos com apelos a aspectos metodológicos ou outros tipos de erros;
- (c) *excluir os dados*: perceber a validade dos dados, mas não utilizá-los sem explicar o motivo, aparentemente porque não são importantes para a teoria ou modelo;
- (d) *deixar os dados em suspensão*: acreditar que em alguma outra ocasião os dados serão utilizados para uma explicação em sua teoria ou modelo atual;
- (e) *reinterpretar os dados*: explicar os dados com base na teoria ou modelo atual sem modificá-los, mesmo que eles sejam incompatíveis (Chinn & Brewer, 1998, p. 629), isto é, usar os dados de acordo com a conveniência;
- (f) *modificar as ideias, teorias e modelos apenas periféricamente*: preservar a teoria ou modelo frente a dados anômalos, apenas com modificações periféricas; e
- (g) *modificar as ideias, teorias e modelos centralmente*: modificar as ideias, teorias e modelos com o intuito de explicar os dados anômalos (Chinn & Brewer, 1998).

Com relação ao uso de dados, também analisaremos se há ou não divergência quanto ao aparecimento e coerência de argumentos quando dados primários e secundários são disponibilizados aos estudantes. Nas Atividades 6 e 7 de ligações iônicas, o estudante lida com dados secundários apresentados em enunciados. Nas Atividades 1, 3 e 4 de interações intermoleculares eles lidam com dados primários, isto é, com informações experimentais coletadas por eles. É válido destacar que a literatura apresenta denominações

distintas para os tipos de dados. Kelly, Druker e Chen (1998) utilizam os termos ‘dados hipotéticos’, para aqueles fornecidos aos alunos em um problema (sendo, portanto, similares aos dados secundários) e ‘dados empíricos’ para aqueles obtidos pelos próprios estudantes (sendo, portanto, similares aos dados primários). Há ainda distinção entre ‘dado ministrado’, aquele fornecido para o estudante (secundário) e ‘dado mobilizado’, aquele recuperado pelo próprio aluno (Jiménez-Aleixandre, 2010) (primário ou secundário).

Julgamos relevante perceber se há diferença quanto ao uso de dados primários e secundários nos argumentos devido às recomendações da literatura (por exemplo, Hug & McNeill, 2008). Esses autores afirmam que é importante para o estudante lidar com ambos os tipos de dados, mas que pode haver divergência no uso de dados de distintas naturezas. Kanari e Millar (2004), por outro lado, afirmam que a análise de dados coletados pelos estudantes é a base do raciocínio científico. Ao analisar os argumentos de um grupo, podemos identificar se houve diferenças ao testar, justificar e modificar um modelo em virtude do tipo de dado. Esse tipo de discussão pode trazer contribuições para o campo de Ensino de Ciências, pois tem sido apontado por alguns autores como um tipo de investigação relevante (por exemplo, Gott & Duggan, 1996; Kerlin et al., 2010), porque pode trazer implicações para os professores de ciências em relação à forma de se trabalhar com dados primários e secundários em sala de aula e de como estruturar as atividades de ensino com base nas dificuldades dos estudantes com cada um desses tipos de dados.

Como comentando no capítulo 2 desta tese, aspectos metodológicos relativos à sala de aula na condução de atividades que visem favorecer a modelagem e a argumentação são importantes para o bom andamento delas, o que inclui a co-construção de modelos e argumentos no grupo a partir dos posicionamentos adotados pelos estudantes; a socialização dos modelos no âmbito da sala de aula em momentos de discussão de modelos, principalmente, durante o teste deles e o estabelecimento do modelo consensual e também o papel do professor na condução desse processo (questões, colocações, formas de encorajar os estudantes etc.). Julgamos ser relevante analisar o papel social da construção dos modelos e argumentos porque isto pode nos fornecer indícios de se há diferença dos argumentos e modelos nos grupos em função da atuação de seus componentes ou se isto se deve à estratégia de ensino. Em outros termos, se há aspectos da estratégia que precisam ser reformulados, retirados, explicitados mais claramente ou se o problema é mais de ordem metodológica da sala de aula. Neste trabalho o nosso foco não é analisar exaustivamente o

posicionamento do professor. A análise do professor será destacada sempre que julgarmos a relevância de destacar as suas ações na conduta das atividades em sala de aula.

Para análise dos aspectos sociais da argumentação, optamos por utilizar elementos de duas propostas. Uma delas é a classificação de atos em 'doing school' ou 'doing the lesson' proposta por Jiménez-Aleixandre et al. (2000). Ao analisar a discussão dos estudantes, tentaremos identificar momentos em que eles desviam o foco da atividade de modelagem ('doing the science') para desempenhar suas atividades rotineiras e rituais do domínio escolar (rever dever de casa, fazer outras leituras, completar atividade para entregar ao professor sem se focar na mesma, concordar com um colega apenas porque é obrigado a entregar a atividade, isto é, sem expor seu ponto de vista e defendê-lo) ('doing the lesson').

Outra proposta é observar a simplificação de alguns elementos das regras de discussão crítica proposta por van Eemeren et al. (1996) (apresentadas no quadro 2.5). As regras propostas pelos autores são extremamente complexas para uma situação de sala de aula. Também não seria lógico observá-las integralmente, pois a professora não se baseou nas mesmas para tentar conduzir as discussões³⁷. Entretanto, julgamos que alguns elementos, como os ressaltados nos trabalhos de Bortoletto e Carvalho (2009) são relevantes para serem analisados em uma situação de argumentação social em sala de aula. Assim, tentaremos identificar, quando possível, nas discussões no grupo e nas socializações, se (i) cada estudante teve oportunidade de apresentar seu ponto de vista, se foi respeitado pelos colegas e levado em consideração; (ii) cada estudante teve oportunidade de apresentar justificativa para esse ponto de vista e se ela foi levada em consideração; (iii) um grupo se antecipou ao outro, impedindo a colocação de ideias do último; (iv) a professora se antecipou às discussões dos modelos da turma de forma a chegar ao consensual (mais próximo ao curricular); e (v) os estudantes e a professora atuaram no grupo como protagonista, antagonista ou com posição de neutralidade, e a relação disso com a construção social de modelos, argumentos e refutações.

³⁷ Até porque na época em que os dados foram coletados essas regras não eram conhecidas por nós.

4.2.4. A Análise de Dados

A transcrição das aulas foi realizada por duas assistentes de pesquisa³⁸ durante o ano de 2010. Os vídeos das aulas foram assistidos por mim após a transcrição de dados, situação na qual tentei compreender aspectos que não foram audíveis para elas³⁹, perceber entonação de voz dos sujeitos e aspectos não-verbais em algumas ocasiões, que poderiam ser importantes para inferência sobre elementos não explícitos verbalmente, em concordância com a recomendação de Erduran:

“Ampliar a análise da argumentação de formas verbais para contextos multimodais⁴⁰ em que outras formas de representação (incluindo gestos) podem ser consideradas como componentes do argumento promete ser um território frutífero para estudos metodológicos do campo”. (Erduran, 2008, p. 67).

Durante a coleta dos dados, eu a assistente de pesquisa tentamos acompanhar melhor as discussões ocorridas nos grupos 2, 3 e 4. Em alguns momentos, principalmente nos encontros iniciais, os alunos dos grupos 2, 3 e 4 se comunicavam muito baixo uns com os outros em decorrência da presença da filmadora. Nós temos consciência de que a presença de operadores realizando a filmagem das aulas pode influenciar o cenário natural do ensino, porque os participantes podem apresentar manifestações diferentes das habituais ou se distraírem (Erickson, 2006). Por isso, nos preocupamos em mover o mínimo possível as câmaras, ocasionando menor distração entre os participantes. Percebemos que, com o decorrer das aulas, eles se sentiram mais confortáveis para expor suas opiniões. Julgamos que isto aconteceu em função de eles terem percebido que suas respostas eram valorizadas e de terem se acostumado com nossa presença. Como explicado anteriormente, o foco foi feito nesses grupos porque eram aqueles dos quais participavam mais alunos que haviam realizado a entrevista pré-instrução. Nesta tese, analisamos as discussões ocorridas com os grupos 2 e 4 porque foram aqueles para os quais conseguimos obter mais dados a partir das transcrições. Ambos se empenharam bastante no processo, mas tiveram histórias diferentes (aspecto que foi, inicialmente, observado a partir de uma inspeção rápida das transcrições e acompanhamento da pesquisadora ao coletar os dados), o que julgamos interessante de ser analisado.

³⁸ Professoras de Química que fazem parte de nosso grupo de pesquisa.

³⁹ O que nem sempre resultou em compreensão, visto que não tínhamos microfone para coletar os dados e o barulho externo à sala muitas vezes se sobrepôs à voz dos estudantes.

⁴⁰ Refere-se ao uso de mais de um modo de representação (palavras, imagens e gestos, por exemplo).

A princípio, eu e a assistente de pesquisa deveríamos atuar como observadoras-participantes⁴¹ na sala de aula. Entretanto, em alguns momentos, como especificado nos estudos de caso, foi necessário que eu mesma conduzisse o processo no papel de professora da turma.

A presente pesquisa se enquadra na perspectiva *interpretativa* no que diz respeito à maneira pela qual o conhecimento é construído, isto é, como um construto pessoal, influenciado por experiências passadas, fatores sociais e culturais. Sendo coerente com esse pressuposto, optamos pela utilização de um método de análise qualitativo, que possibilitasse a compreensão de casos particulares e gerais, do não usual e do representativo, de construtos sociais e individuais, a percepção da construção e uso de conhecimentos e, ainda, que oferecesse a possibilidade de inferências mediante análise das evidências (Cohen, Manion, & Morrison, 2000). Após essa análise (apresentada em estudos de caso, como comentado a seguir), quantificamos os argumentos dos estudantes em cada uma das estratégias e no geral, o que nos fez perceber algumas tendências do ensino por modelagem.

As discussões dos estudantes nas aulas foram o dado principal para análise do processo de ensino. Entretanto, também levamos em consideração as notas de campo produzidas por mim que descrevem, em termos gerais, os aspectos vivenciados pelos estudantes em cada atividade de ensino. Além disso, consultamos as atividades escritas produzidas pelos estudantes que traziam informações sobre os modelos produzidos. O uso de múltiplas fontes de dados e de diferentes analistas (nesse caso, eu e minha orientadora) possibilitou a triangulação. Cada uma das pesquisadoras realizou a análise dos dados separadamente. Durante a discussão das análises, as discordâncias foram discutidas até existir um acordo. Isso ocorreu com o intuito de diminuir as parcialidades da análise, garantido assim a validade interna da pesquisa⁴² (Cohen et al., 2000).

A integração de todos os dados permitiu a elaboração de *estudos de caso* para cada grupo de alunos em cada uma das estratégias de ensino. Um estudo de caso apresenta

⁴¹ No intuito de buscar familiaridade com a situação e com aqueles envolvidos no processo. Ele se diferencia do participante comum por apresentar (ou buscar) consciência explícita e introspecção sobre as ações necessárias para participar apropriadamente de uma determinada situação social (Spradley, 1980).

⁴² A validade interna de uma pesquisa é garantida, principalmente, através de explicações de eventos particulares sustentados pelos dados, análise de pares, checagem da adequação da análise e triangulação (Cohen et al., 2000).

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

A opção por estudos de caso se deveu ao fato de questionarmos **como** a modelagem favorece a argumentação. Através de um estudo de caso, pode ser possível fazer ligações causais em intervenções que são complexas demais para tratamento através da identificação de dados isolados. As ricas descrições dos estudos de caso possibilitaram o entendimento de algumas ações dos sujeitos, a partir dos quais as pesquisadoras realizaram inferências e teorizações, principalmente, nas análises de cada um deles. A análise dos estudos de caso fundamentou a discussão das questões de pesquisa.

No estudo de caso, cada estudante do grupo recebeu um nome aleatório, de forma a preservar a identidade dos sujeitos. Quando no estudo de caso de um determinado grupo apareceram contribuições de sujeitos de outros grupos, os últimos foram identificados pelo nome e pelo grupo de origem. Nos estudos de caso, são feitas descrições gerais dos eventos ocorridos em sala de aula. Eles são apresentados por ordem de atividade de cada uma das unidades didáticas. Sempre que possível, enfatizamos as relações dos eventos ocorridos e elementos do diagrama Modelo de Modelagem, que foram apresentados em itálico. Além disso, explicitamos os argumentos e os modelos dos grupos 2 e 4 relativos àqueles eventos. Argumentos expressos por alunos de outros grupos não são explicitados, caso apareçam nos estudos de caso. Os argumentos foram numerados ao longo dos eventos narrados a partir de um código do tipo “A_x”, no qual x é a ordem de aparecimento daquele argumento ao longo do processo narrado. Foi utilizado o código “A_xG_y”, quando nos referimos a argumentos específicos de cada grupo.

A partir das falas dos estudantes, os argumentos foram reconstruídos visando facilitar a análise. Utilizamos os códigos empregados nos exemplos para cada nível de descritores da qualidade do argumento científico curricular (apresentados no quadro 4.1) e qualificamos o nível de cada um dos argumentos. Quando necessário, empregamos

conectores, tais como ‘porque’ e ‘então’ nas ideias apresentadas pelos alunos, como tem sido feito por alguns pesquisadores da área de Ensino de Ciências (Capecchi & Carvalho, 2000; Jiménez-Aleixandre et al., 2000; Nascimento & Vieira, 2008; Sasseron, 2008) com o intuito de favorecer a compreensão do leitor que não tem acesso aos dados brutos.

Cada um dos modelos construídos pelos grupos foi identificado como “ML.I.x” (modelos para ligação iônica) ou “MI.I.x” (modelos para interações intermoleculares), onde x é o número do modelo de acordo com a sequência cronológica. Quando foi feita uma modificação periférica no modelo, este foi identificado pelo código “ML.I.x’” ou “MI.I.x’”. Quando foi feita menção a modelos de determinados grupos, utilizamos o código “ML.I.xG_Y” ou “MI.I.xG_Y”.

Sempre que possível, cada argumento foi, ainda, avaliado em termos de uso de dados primários e secundários. Em cada vez que o estudante teve a oportunidade de lidar com dados para avaliar seus modelos, analisamos como ele lidou com aquele dado segundo as categorias criadas por Chinn e Brewer (1998), quando havia discrepância.

Além disso, na apresentação da sequência de eventos e falas, são discutidos os aspectos sociais da argumentação que estiveram presentes na construção e socialização. Nesse processo, são detalhados os papéis de protagonista e antagonista dos sujeitos; a mediação das discussões pela professora; as oportunidades de expressar ponto de vista, justificá-lo e os avanços nos pontos de vista e justificativas. Finalmente, em momentos oportunos, justificamos a atuação dos componentes do grupo a partir de elementos relativos a ‘doing the lesson’ e ‘doing school’ ou ‘doing science’.

Na apresentação dos resultados desta tese (capítulo 5), optamos por reunir em um único item os estudos de caso de cada grupo referentes a cada um dos temas químicos. Em outras palavras, apresentamos um estudo de caso geral para o ensino do tema ligações iônicas e outro para o ensino do tema interações intermoleculares. Em cada um deles, identificamos as Atividades e apresentamos o estudo de caso de cada um dos grupos referente ao tema. Fizemos esta opção para facilitar a compreensão do leitor sobre os aspectos discutidos em cada caso.

CAPÍTULO 5: ANÁLISE DE DADOS

5.1. ESTUDO DE CASO PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS

ATIVIDADE 3

Introdução

A Atividade 3 teve início no dia 04/03/09, quando a professora realizou demonstrativamente a queima de uma fita de magnésio (situação nova para os alunos) e levantou, junto aos mesmos, as observações experimentais relativas ao fenômeno observado. No dia 11/03/09 a professora realizou novamente a queima do magnésio, pois esse foi o dia em que muitos alunos assistiram pela primeira vez as aulas de química daquele ano letivo⁴³. A seguir evidenciamos trechos destas aulas que demonstram algumas ideias iniciais dos estudantes e como a professora direcionou a discussão para os aspectos do fenômeno que eram importantes naquele contexto:

Professora: “Aconteceu alguma coisa diferente aqui? O que a gente observou durante o aquecimento, hein?”

Rita (G₃): “Derreteu.”

Aluno: “Encolheu.”

Professora: “Ok, vamos discutir essas ideias. Mas, primeiro, durante o aquecimento aconteceu uma coisa bastante interessante...”

Carlos (G₃): “Deu combustão.”

Professora: “Ok, toda reação que queima a gente chama de combustão. Ótimo! Mas quando estava queimando, o que aconteceu?”

Aluno: “Um foguinho.”

Professora: “Uma luz, de que cor?”

Alunos: “Branca.”

Professora: “Intensa.”

Professora: “Eu vou passar mais de perto, vocês vão observar como ficou a fita de magnésio. O que a gente observa aqui? Que cor que ficou agora?”

Alunos: “Ele era uma lâmina cinza e virou um pozinho branco.”

A seguir a professora fez a tradução do nível macroscópico para o simbólico:

Professora: “A cada substância é atribuída uma fórmula, não é? O magnésio é um metal.

⁴³ O ano letivo teve início no começo do mês de fevereiro, mas muitos se matricularam um mês após. Essa situação é comum nas escolas estaduais, principalmente, no noturno, em que a falta dos estudantes as aulas e a evasão deles é também frequente.

Que fórmula ele tem?”

(Silêncio)

Professora: “Olhem na tabela.”

Aluno: “Mg.”

Professora: “Qual é o estado físico dele?”

Alunos: “Sólido.”

Professora: “Toda queima é um tipo de reação que ocorre essencialmente na presença de que?”

Carlos (G₃): “Fogo.”

Professora: “Além do fogo? Fogo não é uma substância, o fogo é uma forma de energia que inicia a queima.”

Carlos (G₃): “Fósforo.”

Aluno: “Oxigênio.”

Professora: “O oxigênio. O fósforo vai fornecer a chama, mas sem oxigênio nada queima. Então, qual que é a fórmula do oxigênio?”

Aluno: “O.”

Professora: “O gás oxigênio? O? O oxigênio que nós respiramos é O?”

Aluno: “É O₂.”

Professora: [Escreve no quadro a equação: $\text{Mg(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{MgO(s)}$].

Após a discussão inicial sobre as observações e a representação do fenômeno, os estudantes tiveram dois horários para discutir as questões relativas à queima do magnésio, observar a “garrafa mágica” e resolver as questões relacionadas àquele sistema.

Grupo 2

O grupo 2 era formado por 7 componentes, cujos nomes fictícios são: Iara, Raquel, Igor, Maria, Sônia, Diana e Júlia.

Em uma das questões, era solicitada uma explicação quanto ao significado da luz proveniente da queima do magnésio. A primeira resposta dada pelo grupo foi: “A luz indica que o magnésio foi queimado”. Essa resposta demonstrava uma afirmativa derivada do experimento, sem justificativa para a mesma. A professora se aproximou do grupo e tentou explicitar mais claramente o foco da explicação solicitada na atividade:

Professora: “Por que aparece aquela luz?”

Iara: “É por causa do fogo.” {Afirmativa 1.}

Professora: “Mas então, eu queimo o papel, não queimo? E aparece uma luz branca? Então é por causa do fogo?” {Refutação a afirmativa 1.}

Iara: “É por causa do metal, professora?” {Afirmativa 2.}

- Professora: “Mas o que será que está ocorrendo ali [referiu-se a queima do magnésio] que faz aparecer uma luz?”
- G₂: “Porque ele é um condutor de energia.” [Referiu-se ao magnésio] {Justificativa empírica da afirmativa 2.}
- Professora: “Por que ele é um bom condutor de energia? Bom, então aconteceria isso com qualquer metal?” {Refutação a afirmativa 2.}
- G₂: “Não.”
- Igor: “Tem haver com a temperatura de fusão [Referiu-se a temperatura de fusão do magnésio].” {Afirmativa 3.}
- Professora: “Mas aquilo foi uma fusão ou uma reação química?” {Refutação a afirmativa 3.}
- Igor: “Foi uma reação química.” {Afirmativa 4.}
- Professora: “Não tem haver com temperatura de fusão, porque ele não está fundindo. Ele está sofrendo uma reação química, formando uma nova substância. {Refutação a afirmativa 3.}. Então vocês vão ter que pensar mais um pouco nisso e nas partículas envolvidas.”

Nesses diálogos, percebemos que no grupo surgiram algumas afirmativas para explicar o que seria a luz proveniente da queima. A afirmativa 1 (fogo) foi prontamente refutada pela professora, por não ser uma explicação coerente, porque atribui a um ente a causa do fenômeno ao invés de se pensar no processo (apesar de ser uma ideia bastante comum no cotidiano das pessoas quando elas pensam em combustão). A afirmativa 2 (metal) foi justificada empiricamente pelos estudantes (condução do metal). No final da aula, a pesquisadora perguntou aos alunos sobre a relação entre condutividade do metal e luz. Pelo que foi entendido, eles pensaram no tungstênio da lâmpada incandescente. O diálogo com a professora e o raciocínio explicitado à pesquisadora, nos conduziram à reconstrução de um argumento causal e outro analógico, ambos de nível 1:

A₁G₂: Se tungstênio (domínio análogo) é condutor, **magnésio** (domínio alvo) **também é**. (1.E-A)

Premissa de similaridade: Tungstênio é metal assim como magnésio.

Premissa base: Tungstênio é condutor de eletricidade.

Conclusão: Então, magnésio é condutor de eletricidade.

A₂G₂: **A luz é explicada pela condução do metal**. (1.E-C)

A₁ foi classificado como 1.E-A por se basear em relações analógicas e utilizar um conhecimento empírico do análogo na associação com o alvo, ^{pois} os alunos demonstraram saber que o filamento da lâmpada é de tungstênio e que ele é condutor. A₂ foi classificado

como 1.E-C porque demonstra a ideia de causalidade. Classificamos a justificativa como empírica pela ausência de elemento que explicitasse claramente que os alunos entendiam a condução do metal no nível submicroscópico, ou seja, a ideia de condução parecia estar baseada em experiências prévias do cotidiano quando as pessoas comentam que os metais são utilizados para determinados fins devido ao fato de serem bons condutores, ou mesmo em experiências escolares anteriores a partir das quais os estudantes podem ter se apropriado de um conhecimento declarativo, que não é compreendido a partir de um modelo.

A₂ foi refutado pela professora por não ser uma explicação coerente do fenômeno do ponto de vista científico, mas foi considerado um raciocínio coerente quando analisamos o processo vivido pelo grupo 2 na Atividade 3, porque ficou evidente (ver os diálogos sobre a “garrafa mágica” a seguir) que os conceitos de reação química (que julgávamos ser conhecimento prévio) não eram claros para os alunos.

Posteriormente, a afirmativa 3 (temperatura de fusão) foi expressa e também foi refutada pela professora, anteriormente a uma justificativa da mesma. Em seguida, foi expressa a afirmativa 4 que, segundo as recomendações da professora, deveria ser trabalhada pelo grupo. Percebe-se que a professora agiu como antagonista com o intuito de focar a discussão do grupo sobre transformação química.

Nesse momento, e em alguns outros, percebemos que os alunos da turma se focaram apenas no aspecto macroscópico, supostamente por não compreenderem uma reação química no nível submicroscópico⁴⁴ e também pela falta de costume em realizar articulação com o nível submicroscópico, visto que eles não estavam acostumados com atividades experimentais com caráter mais investigativo que solicitavam esse tipo de articulação.

A discussão sobre a “garrafa mágica” (mais especificamente sobre o número de substâncias presentes na garrafa) evidencia que a ideia de reação química não estava clara para o grupo, mesmo após a discussão da parte A da Atividade 3.

⁴⁴ Segundo relato da professora quando discutimos inicialmente a proposta de ensino, o assunto transformações químicas deveria ter sido discutido qualitativamente no 1º ano do ensino médio. Ela relatou ter trabalhado um texto no início do ano letivo a respeito das transformações químicas visando revisar o assunto. O texto era do livro didático Química e Sociedade (Wildson Luiz Pereira dos Santos, Gerson Mol e outros, Editora Nova Geração, Volume único), que era adotado na escola, cujo foco é a abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) de ensino.

- lara: “Eu acho que são duas substâncias {afirmativa 1}, que estão em repouso as duas. [Quando o sistema não foi agitado – coloração amarela]. No caso aqui [sistema agitado – com coloração azul] elas se misturaram, quando a gente balança há mistura, as substâncias interagem entre si, aí a gente vê mesmo que misturou, e aí que muda de cor.” {Justificativa empírica para a afirmativa 1.}.
- Professora: “Quando a gente agita o que a gente faz?”
- lara: “Ela muda de cor.”
- Professora: “Mas por quê?”
- lara: “Por que as duas [substâncias] se misturam.” {Explicação}.
- Professora: “Elas já estavam misturadas antes, não estavam?” {Refutação para a afirmativa 1.}.
- (Alunos pensativos)
- Professora: “Vocês concordam comigo que misturar tem um significado e reagir tem outro significado? Qual que é a diferença entre misturar e reagir?” {Refutação para a afirmativa 1.}.
- (Alunos pensativos)
- Professora: “Acontece alguma coisa com elas que...? Muda o que?”
- Igor: “Muda o sistema.”
- Igor: “A aparência.”
- Professora: “Ok, mudam as características visuais, mas e em termos da representação? Em termos das partículas?”

Nesse trecho foi expresso um argumento do tipo 1.E-C:

Existem duas substâncias, quando estão em repouso a cor é amarela, quando são
A₃G₂: agitadas a cor é azul. (1.E-C)

A₃ foi classificado como 1.E-C porque a justificativa se baseou na evidência experimental.

A₃ seria incoerente quando se pensa que o que ocorre na garrafa são reações químicas e que misturar não é um ato mecânico. Entretanto, os alunos desse grupo não tinham claro o significado de mistura no contexto da Química, o que foi evidenciado também na discussão da parte B da Atividade 3. Nesta parte, a professora lhes informou que o ferro não é encontrado puro na natureza, que é extraído de um minério de ferro (Fe₂O₃). Segundo eles, o minério de ferro era uma mistura e não uma substância composta (concepção alternativa comum entre estudantes de acordo com a literatura (Nakhleh, 1992)).

A professora também agiu como antagonista nessa discussão, pois ela parecia ter o objetivo de favorecer a convergência dos conceitos expressos na discussão para os científicos.

Grupo 4

O grupo 4 era constituído por 6 componentes, cujos nomes fictícios são: Paola, Cristiane, Daniela, Sara, Joana e Aline.

As discussões ocorridas no grupo 4 sobre a “garrafa mágica” (em relação ao número de substâncias presentes nela) evidenciam a confusão das estudantes sobre transformação física e transformação química:

- Paola: “Mas ele [referiu-se à Atividade 3] está perguntando se tem [mais de uma substância], não está perguntando quais são. Porque água pura não dá para ficar assim não.”
- Cristiane: “A substância [da garrafa] fica diferente. Não tem uma substância que você agita e fica modificado”.
- G₄: “É, tem mais de uma substância. Quando você balança ela muda, vai mudando.” {Afirmativa 1.}
- Cristiane: “Só quando tem duas substâncias que ela muda sua fórmula”? [Referiu-se ao fato de formar uma substância nova.]
- Paola: “Sim, porque agitando a garrafa as substâncias se misturam. Se fosse uma única substância não iria ocorrer nada.” {Justificativa empírica para a afirmativa 1.}

Esse diálogo nos levou a reconstrução de um argumento 3.T-E-A-C:

- A₁G₄: A água (domínio análogo), POR SER SUBSTÂNCIA, NÃO MUDA DE COR. Assim, **o conteúdo da garrafa** (domínio alvo) **não pode ser formado por uma substância apenas.** Por isso modifica a cor ao ser agitada. (3.T-E-A-C)
- Premissa de similaridade: A água não se comporta como o que está presente na garrafa.
- Premissa base: A água é uma substância e não muda de cor.
- Conclusão: A garrafa é formada por mais de uma substância e muda de cor.

Este argumento foi classificado como 3.T-E-A-C pela causalidade (há mais de uma substância na garrafa por causa da modificação de cor do sistema) que se fundamentou nas evidências e no raciocínio analógico. Esse argumento tem aspectos coerentes e incoerentes com a visão científica. A coerência se relaciona às ideias de água como substância e da constância de suas propriedades. A incoerência se relaciona à ideia de mistura como algo mecânico e à não compreensão do fenômeno como químico (assim como aconteceu no grupo 2).

A pesquisadora tentou refutar a ideia de mistura como ato mecânico enquanto a professora estava atendendo outros grupos:

Pesquisadora: “Suponha que tenha mais de uma substância. Elas já estão misturadas, não estão? Porque vocês estão vendo uma coisa só.” [Referiu-se à mistura homogênea] {Refutação a afirmativa 1.}

G₄: “É.”

Pesquisadora: “Quando você agita, o que acontece?”

G₄: “A cor muda, você mistura as substâncias.” {Justificativa empírica para a afirmativa 1.}

Pesquisadora: “Por que você acha que mudou de cor?”

Daniela: “Porque elas se misturaram.” {Explicação.}

Pesquisadora: “O que você falou?”

Sara: “Aconteceu uma reação química?” {Afirmativa 2.}

Pesquisadora: “Pensa nisso: Reação é diferente de mistura.”

Paola: “A gente pergunta e ela deixa a gente mais confusa.”

Pesquisadora: “Então quando você agita e muda de cor é porque aconteceu o que? Porque misturar, já está misturado.” {Refutação a afirmativa 1.}

G₄: “Uma transformação.”

Pesquisadora: “Uma transformação é mais plausível do que você falar que quando você agita você mistura, porque já está misturado.” {Confirmação da afirmativa 2.}

Pesquisadora: “Que tipo de transformação?”

G₄: “Uma transformação química.” {Afirmativa 2.}

Paola: [Reclama das colegas que apenas copiam.]

O grupo apresentou outra afirmativa frente às colocações da pesquisadora, mas esta não foi devidamente justificada. Durante a discussão, Paola reclamou do fato de a professora e/ou pesquisadora nunca responderem suas dúvidas, mas colocar outras indagações com o objetivo de fazê-las pensar⁴⁵. Acreditamos que isso se relaciona à cultura escolar (‘doing school’) à qual as alunas eram submetidas. Outro fator relacionado a isso é a reclamação de Paola quanto à cópia das atividades pelas colegas que não participavam ativamente das discussões, mas que queriam entregar à professora a atividade completa⁴⁶ (‘doing the lesson’).

A seguir, as alunas deixaram claro que não compreendiam bem o que seria uma reação química:

⁴⁵ Essa postura também ocorreu na Atividade 1 e foi comum em outros grupos.

⁴⁶ A reclamação das alunas que mais se empenhavam no grupo (Paola, Cristiane e Sara) aconteceu em outros momentos da Atividade 3.

G₄: “O que é uma reação química? É quando duas substâncias fundem?”
[Apontando para a equação de formação do óxido de magnésio expressa no quadro]

Pesquisadora: “A gente fala reage, a gente não fala funde. Melhor, quando elas se transformam, devido a interações, em uma nova substância.”

Elas relacionaram a fórmula MgO à fusão (soma) de Mg e $\frac{1}{2}$ O₂, evidenciando o que entendiam por esse termo e que não tinham claro um modelo para explicar porque se formava uma nova substância. Supostamente por isso, não foi expresso qualquer justificativa para o ponto de vista 2.

Considerações Finais

No dia 18/03/09, foi realizado o fechamento da atividade pela professora, o que incluiu a discussão de gráficos relativos à distância internuclear versus energia (“poço potencial”) (uma vez que o objetivo geral da atividade era o entendimento de que as ligações químicas ocorrem com abaixamento de energia (subetapa *ter experiências com o alvo*)). Na discussão dos gráficos, a professora os relacionou explicitamente com os fenômenos observados na Atividade 3, como solicitado pela pesquisadora. Tal relacionamento foi proposto por julgarmos que o entendimento do gráfico (modelo) seria favorecido a partir da ênfase nos aspectos macroscópicos. A professora seguiu uma sequência de interações do tipo I-R-A (iniciação do professor – resposta do estudante – avaliação do professor) (Edwards & Mercer, 1987 apud Mortimer, 2006), como exemplificado pelas falas:

Professora: “Lembram-se de uma coisa muito importante que eu já comentei com vocês: Quando eu perguntei assim, o que é mais estável: o magnésio ou o óxido de magnésio? Lembram-se? O que vocês me responderam?”

Aluno: “O óxido de magnésio.”

Professora: “O óxido de magnésio. Por quê? Houve uma liberação de energia, não houve? Então o óxido de magnésio tem menos energia do que o magnésio, não é verdade? Ai a gente concluiu que na natureza, tudo tende a um estado de menor energia. Então vamos analisar aqui. De 2 para 3 o que eu observo que acontece com a distância entre os átomos [refere-se ao gráfico de poço potencial]?”
[Falas confusas]

Professora: “Hein? A distância? Diminui. Os átomos se aproximam mais. E o que acontece com a energia?”

Aluno: “Diminui.”

Professora: “Eu posso falar que o ponto 3 é o ponto mínimo de energia, não é verdade? Então, aqui no ponto 3, quando eu tenho a menor energia, é porque eu tenho a maior estabilidade. Eu posso falar que ocorre a ligação química, como no

óxido. E como é que é essa ligação química? Bom, vocês concordam comigo que os átomos são formados por partes positivas e negativas, não é verdade? E que cargas opostas?”

Alunos: “Se atraem.”

Professora: “Cargas opostas se atraem. Cargas iguais...?”

Alunos: “Se repelem.”

Gastou-se mais tempo para discutir essa atividade do que o previsto pela professora e pela pesquisadora porque ela foi considerada difícil pelos estudantes. Isto pode ser justificado pelo fato de, até aquele momento, eles não terem o costume de observar evidências empíricas na escola; de discutir em grupo questões que não eram respondidas facilmente apenas utilizando conhecimento declarativo e sim as evidências; de lidar com a postura da professora, que ao invés de lhes fornecer uma resposta pronta lhes fornecia outras questões, dicas, retomada de conhecimentos prévios com o intuito de encorajá-los na resolução das questões; ou, ainda, pela falta de conhecimentos químicos considerados como pré-requisito para a Atividade e pela dificuldade de lidar com um ente tão abstrato, como energia. Vários outros aspectos foram retomados e discutidos na Atividade, além do objetivo geral da mesma para o ensino das ligações químicas. Assim, a professora tentou levar em consideração as ideias alternativas nas discussões nos grupos, principalmente a partir de refutações a elas (como exemplificado anteriormente), e no fechamento de cada parte da Atividade 3. No fechamento, essas discussões sempre seguiram o padrão de interações I-R-A, supostamente com o intuito de direcionar o pensamento dos estudantes para o conceito científico.

ATIVIDADE 4

No dia 25/03/09 (1 horário), a professora aplicou e discutiu a Atividade 4. Ela decidiu trabalhar com a Atividade 4 mais brevemente por julgar que seria tranquilo relacionar os dados da tabela de energia de ionização e afinidade eletrônica com a distribuição eletrônica para concluir a respeito dos íons formadores do cloreto de sódio. Ela tomou esta decisão devido ao maior tempo gasto na Atividade 3 e à necessidade de proporcionar mais tempo para os estudantes proporem e discutirem o primeiro modelo para o cloreto de sódio (Atividade 5). Assim, não são apresentadas discussões dos grupos 2 e 4, porque não há dados que possam contribuir para a análise. Ao observar as discussões nos grupos, percebemos que estabelecer o relacionamento não foi tão simples, mas como a professora

não tinha tempo disponível para discutir pontualmente (assim como fez nas demais atividades), ela decidiu discutir as dúvidas no fechamento⁴⁷.

O fechamento da Atividade 4 também seguiu o padrão de interação I-R-A, no qual a professora perguntou aos estudantes sobre cada uma das questões apresentadas no roteiro da Atividade com o objetivo de deixar claro que (i) a tendência de alguns átomos em formar cátions pode ser explicada pelo baixo valor de energia de ionização e pelo baixo valor de afinidade eletrônica; (ii) a tendência de alguns átomos em formar ânions pode ser explicada pelo alto valor de energia de ionização e pelo alto valor de afinidade eletrônica; e (iii) o íon mais estável formado pelo Na a partir de Na(s) é Na^+ , o íon mais estável formado pelo Cl a partir de $\text{Cl}_2(\text{g})$ é Cl^- (com os devidos cálculos energéticos).

ATIVIDADE 5

Introdução

A Atividade 5 foi aplicada nos dias 25/03/09 (1 horário) e 27/03/09 (1 horário). Inicialmente, a professora deixou claro qual era o objetivo da Atividade para toda a turma: pensar em um modelo para o cloreto de sódio (formando pelos íons Na^+ e Cl^-) em água e em um modelo para o cloreto de sódio após a evaporação da água (subetapa *definir objetivos para o modelo*). A pesquisadora entregou para cada grupo uma caixa contendo bolinhas de isopor de diferentes tamanhos, massinha de modelar de diferentes cores, palitos de madeira, molas plásticas, ímãs e lápis de cor para que os alunos pudessem escolher livremente o material que julgassem mais adequado para expressar o modelo mental. É importante ressaltar que, inicialmente, parte dos grupos ficou sem saber o que era para ser feito com os materiais concretos (como será evidenciado para o grupo 4). Eles só foram compreender como usá-los após conversar com a professora ou a pesquisadora, quando elas forneceram um exemplo (usar a bolinha de isopor para representar o átomo de hidrogênio da molécula de água e uma bolinha de isopor maior para representar o átomo de oxigênio e unir essas bolinhas por palitinhos). Isso evidenciou que o uso de modelos 3D era algo inédito para muitos alunos da turma.

⁴⁷ A preocupação da professora com o tempo se devia ao fato de ela ter que concluir determinados conteúdos no mesmo tempo que o outro professor de Química da escola em função da existência de uma semana específica de avaliações.

Grupo 2

Os alunos do grupo 2 apresentaram o modelo de dissolução (solução homogênea) expresso na figura 5.1. Eles também o expressaram usando uma bolinha de isopor para representar a água e massinha de cores diferentes para representar os íons (etapas *elaborar* e *expressar modelos em alguns dos modos de representação*).

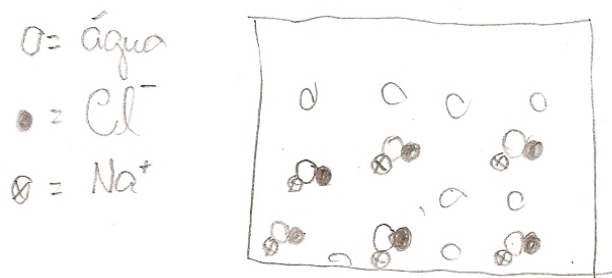


Figura 5.1. Modelo 2D para o cloreto de sódio dissolvido em água proposto por G₂.

Percebe-se que há certas incoerências no modelo quanto à representação adotada para os íons e a molécula, o que evidenciou a dificuldade deles em adotar representações coerentes para as diferentes substâncias químicas, supostamente pelo não uso de modelos no Ensino de Química, como apresentado anteriormente. A pesquisadora pediu para os estudantes justificarem o modelo, isto é, para expressarem como o modelo descrevia o comportamento do sal na água e a representação adotada para a água. Eles afirmaram que “quando o cloreto de sódio se dissolve em água suas partículas, Na^+ e Cl^- , se ligam às partículas de água” e que “no modelo foram representadas mais partículas de água, porque há muito mais solvente que o sal [justificativa para o modelo]”. A ideia de que as partículas do soluto se ligam às partículas do solvente é uma concepção alternativa relatada na literatura (Echeverría, 1996). Os estudantes não apresentaram resposta para como os íons estão ligados à água (qual seria o tipo de interação, porque ela ocorre). Eles não souberam explicar o motivo de terem usado a representação adotada para a água.

Podemos inferir que um aspecto coerente do modelo é a representação de mais partículas de solvente do que de soluto, o que pode ser consequência dos conhecimentos prévios relativos à solubilidade. Portanto, o modelo expresso pelos alunos era capaz de explicar esse aspecto. Dessa forma, é possível dizer que o grupo apresentou um argumento de nível 1 do tipo causal para justificar o modelo proposto. Como não sabemos dizer se o conhecimento a respeito de solubilidade é teórico (há uma quantidade máxima de soluto

que se dissolve no solvente a uma dada temperatura, medido pelo coeficiente de solubilidade) ou empírico (observações cotidianas a respeito de soluções) não classificamos a justificativa em empírica ou teórica.

A₄G₂: **O modelo explica o comportamento do sal em água**, porque representa mais solvente do que soluto. (1.C)

Como os alunos não expressaram claramente o que pensavam sobre a ligação da água aos íons, não podemos inferir sobre como essa declaração explica o comportamento do sal em água. O modelo de dissolução não foi enfatizado pela professora por não ser o foco da discussão e porque os estudantes não tinham estudado formalmente a polaridade da molécula de água. Entretanto, no fechamento da Atividade 5, a professora comentou que os modelos para dissolução tinham que ser capazes de explicar a condução de corrente elétrica da solução (teste do modelo para dissolução), pois ela já tinha comentado com os alunos que a água pura não era condutora, mas que quando certos solutos eram dissolvidos nela, ela passava a ser condutora e, que para isso, era necessário ter movimento dos íons. Em outras palavras, ela disse que modelos que não demonstrassem mobilidade dos íons não eram capazes de explicar um aspecto importante da dissolução. Mas como a professora não fez referência a qualquer modelo específico, não sabemos se o grupo 2 refletiu sobre a coerência do modelo para a dissolução. Também não temos discussões gravadas no vídeo da professora com o grupo a respeito dessa propriedade da solução.

Depois que a água evaporasse iria sobrar apenas cloreto de sódio da forma representada em ML.I.₁ (figura 5.2). O grupo 2 também expressou o modelo utilizando massinha de modelar de cores diferentes para identificar os íons (etapas *elaborar* e *expressar um modelo em algum dos modos de representação*).

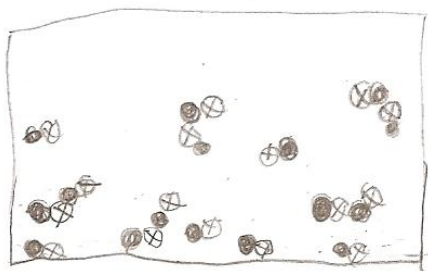


Figura 5.2. ML.I.₁G₂.

Quando questionados sobre as ligações existentes no cloreto de sódio, Iara e Igor se remeteram à atração entre íons de carga oposta {justificativa teórica 1 para *M.L.I.*₁}. Segundo Iara e Igor, há interações mais fortes entre os íons que estão mais próximos e interações mais fracas entre os íons que estão mais afastados {justificativa teórica 2 para *M.L.I.*₁}, que consideramos ser um conhecimento implícito (tácito) da Lei de Coulomb⁴⁸, em concordância com Taber (2002). Consideramos que essas justificativas sejam de natureza teórica, possivelmente, devido às discussões da professora sobre as forças de atração e repulsão existentes nos átomos em diferentes distâncias (fechamento da Atividade 3, discussão sobre o gráfico de poço potencial, subetapa *ter experiências com o alvo*). Assim, classificamos o argumento como 2.T-C:

A₅G₂: **Os íons se ligam da forma mostrada em *M.L.I.*₁, porque há atração entre os íons de cargas opostas [1]. Quanto mais próximos os íons, maior interação e quanto mais afastados, menor interação [2].** (2-T-C)

Os estudantes não explicaram porque representaram aglomerados com quatro íons e aglomerados com dois íons. Eles não fizeram qualquer menção à ideia de ‘molécula de NaCl’, fórmula química do NaCl ou que os aglomerados representavam os grãos do sal⁴⁹.

Na sequência, Igor perguntou à pesquisadora sobre como associar a formação do cloreto de sódio com o abaixamento de energia. Ela pediu que ele pensasse no gráfico de poço potencial discutido pela professora. Mesmo com essa dica, os alunos não conseguiram estabelecer relações sobre a formação de cloreto de sódio e o abaixamento de energia.

Durante a realização desta Atividade foi possível observar que Iara, Raquel, Igor e Maria se envolveram bastante no processo de construção do conhecimento. Percebemos que estes alunos estavam bastante comprometidos com a atividade de modelagem (‘doing science’).

⁴⁸ Lei que pode ser expressa através da equação $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$, em que F representa as interações eletrostáticas entre as cargas, que são consideradas como puntiformes; k é uma constante, que depende do meio; q_1 e q_2 se referem às cargas dos cátions e ânions e r representa a distância entre as mesmas.

⁴⁹ O grupo 3 representou ‘moléculas de NaCl’ porque os alunos pensaram que cada grão do sal era formado por um par iônico.

Grupo 4

Inicialmente, as alunas do grupo 4 estavam sem saber o que era para ser feito na Atividade. Uma possível explicação pode ser o fato de terem se preocupado em responder as questões da Atividade 4 para entregar à professora, pois elas não tinham conseguido concluir aquela tarefa antes da discussão e, assim, desviaram o foco nos objetivos da Atividade 5 traçados pela professora⁵⁰. Acreditamos que esse comportamento se relaciona à cultura escolar de entrega dos trabalhos, mesmo que estes não sejam entendidos plenamente ('doing the lesson').

A pesquisadora se aproximou das alunas para explicar novamente o que era para ser feito. Quando ela comentou que elas deveriam fazer o modelo concreto utilizando os materiais da caixa, houve uma reação inusitada das alunas:

G₄: "Faz um pra gente ver."

Pesquisadora: "Oi?"

G₄: "Faz um pra gente ver."

Pesquisadora: "Por exemplo, eu vou montar o modelinho da água. Para mim isso aqui é a água. Oxigênio ligado a dois hidrogênios. Então pra mim esse é o modelo da água."

Sara: "Que legal!" [Aplausos]

Pesquisadora: "Entendeu?"

(Alunas afirmam com a cabeça que sim.)

Pesquisadora: "Ou então você pode fazer com massinha. Você pega a massinha, você pode fazer a bolinha. Esse aqui é o oxigênio, esses aqui vão ser os hidrogênios."

Ficamos surpresas em perceber que as alunas não tinham noção das relações dos materiais concretos com a representação das substâncias, o que evidenciou mais uma vez que as solicitações da Atividade eram totalmente novas para elas.

As alunas apresentaram o modelo expresso na figura 5.3 para a dissolução do cloreto de sódio em água (etapas *elaborar* e *expressar um modelo em alguns dos modos de representação*).

⁵⁰ As atividades foram avaliadas com nota pela professora. A professora avaliou a presença nas aulas, a participação nas discussões e a entrega da atividade escrita, mas elas não seriam avaliadas caso o aluno tivesse perdido a aula em que atividade havia sido realizada. Ela havia ressaltado para a turma que o mais importante não era mostrar as ideias corretas, mas o raciocínio do grupo. Portanto, eles não precisavam se preocupar em mudar o que estivesse registrado nas atividades em função do que havia sido discutido no fechamento. Em vários momentos, a professora enfatizou aos estudantes que não fazia sentido copiar uma atividade para entregá-la sem que a participação fosse efetiva. Ela agiu dessa forma com o intuito de mostrar a eles que o objetivo daquelas aulas era diferente.

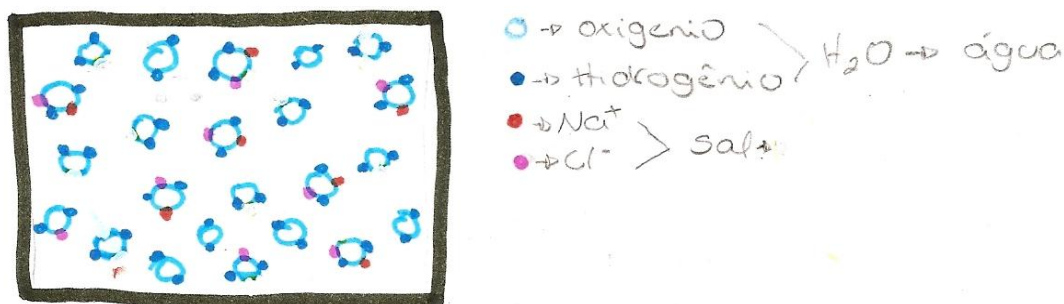


Figura 5.3. Modelo proposto por G₄ para a dissolução do sal em água.

As alunas pensaram que os íons Na⁺ e Cl⁻ se uniam à água. Quando questionadas sobre como seria essa união ou porque eles se uniam, elas não apresentaram respostas. Como no caso do grupo 2, não é possível fazer inferências a respeito da relação do modelo com o comportamento da solução, pois não tivemos acesso às ideias das alunas sobre como seria essa ligação. Ao contrário de G₂, as alunas de G₄ não explicitaram claramente a importância de representar mais moléculas de água do que íons, apesar de o modelo demonstrar isso. De forma similar a G₂, não temos informações se as alunas refletiram sobre a coerência do modelo quando a professora disse, no fechamento, que o mesmo deveria demonstrar íons em movimento (teste do modelo). Também não temos dados sobre a discussão da professora com o grupo a respeito desse aspecto.

As alunas apresentam ML.I.₁ (figura 5.4) para o cloreto de sódio após a evaporação da água. Elas também representaram o modelo com massinha de modelar com cores distintas para identificar os íons (etapas *elaborar* e *expressar um modelo em alguns dos modos de representação*).

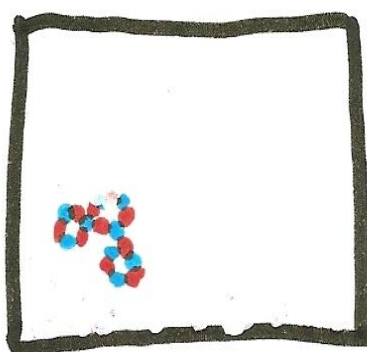


Figura 5.4. ML.I.₁G₄.

Segundo as alunas, *ML.I.1* evidenciava a ideia de “várias atrações entre os íons {justificativa teórica 1 para M_1 }, que deviam estar bem juntos por ser sólido” {justificativa empírico-teórica 2 para M_1 }. As ideias apresentadas pelas alunas expressaram um argumento do tipo 3.T-E-C.

A₂G₄: **Os íons se ligam da forma mostrada em *ML.I.1* devido às atrações das cargas opostas** [1] porque o cloreto de sódio é sólido [2]. (3.T-E-C)

Esse argumento foi considerado de nível 3 pelo fato de uma ideia (várias atrações entre os íons de cargas opostas) implicar na outra (a substância ser sólida). Julgamos que a primeira justificativa possa ter relação com as discussões ocorridas na Atividade 3 (subetapa *ter experiências com o alvo*). Não classificamos a segunda justificativa, porque pensamos que ela possa ter as duas naturezas: observação do sólido e modelo de partículas.

As alunas desse grupo não estabeleceram qualquer tipo de relação entre o abaixamento de energia e a formação do cloreto de sódio (solicitado na última questão da Atividade).

Durante o desenvolvimento da Atividade 5, percebemos grande envolvimento das alunas, exceto Joana e Aline. Assim, consideramos que aquelas que se dedicaram bastante à modelagem, estavam realizando a ciência escolar (‘doing science’).

Considerações Finais

O fechamento da Atividade 5 foi realizado no dia 01/04/09. Inicialmente, a professora deixou claro que o objetivo era “analisar a coerência do modelo”, e que naquele momento, “não havia modelo certo ou errado”. Ela representou no quadro, os tipos de modelo que haviam sido propostos pelos diferentes grupos:

- Várias ‘moléculas de NaCl’ ou pares iônicos.
- Aglomerado de íons Na^+ e Cl^- , mas sem evidenciar claramente a ideia de rede.

A seguir, a professora questionou sobre um aspecto que era comum aos diferentes tipos de modelo:

Professora: “Observem que quando fizeram essa organização [referiu-se ao modelo de pares iônicos e depois ao modelo em rede], que cuidado vocês tiveram? Por que vocês acham que foram colocadas cores alternadas?”

Igor: “Atração entre cargas opostas.”

Professora: “Ok. Então eles estão dizendo que todos os Na^+ e Cl^- que estavam no recipiente, quando a água evaporou, que eles se uniram formando uma estrutura única [aponta para modelo em rede]. Qual é a diferença desse [em rede] para esse [pares]?”

Considerando as discussões ocorridas nos grupos, podemos afirmar que a justificativa teórica (atração entre íons de cargas opostas) era o argumento da turma, independentemente do tipo de modelo proposto. A seguir, a professora questionou sobre qual era a principal diferença entre os tipos diferentes de modelo: em rede e pares iônicos. Cristiane disse que, no caso da rede, “as partículas estavam todas juntas, unidas”. A professora completou dizendo que “num caso [rede] as interações eram entre os vários íons e no outro [pares iônicos] entre os pares de íons ligados”.

Em momento algum da atividade, a professora induziu os estudantes a pensar que um determinado modelo era melhor do que outro. No fechamento, ela não pediu que estudantes de cada um dos grupos que propuseram os diferentes tipos de modelo os defendessem perante a turma. As questões foram gerais (como exemplificado acima) e seguiram o padrão de interação I-R-A. Nesse sentido, podemos dizer que a socialização ocorreu a partir da relação dos modelos propostos pela professora, por questões gerais colocadas por ela e sem a solicitação explícita de defesa ou refutação de um modelo pelos grupos que pensavam de forma congruente ou divergente, supostamente porque os modelos não estavam sendo testados. Nenhum aluno assumiu o posicionamento de defender explicitamente o modelo perante a turma porque (i) não houve solicitação explícita da professora; (ii) talvez eles não tenham se sentido seguros para defender uma ideia e refutar a outra e (iii) não era uma prática comum na sala de aula que eles convencessem os demais pois, geralmente, este era o papel atribuído à professora.

Durante a minha discussão com a professora sobre a condução da Atividade 5, solicitei que ela discutisse com os grupos a fim de obtermos mais elementos sobre suas ideias, que realizasse a socialização dos modelos propostos pela turma e que não encaminhasse a discussão a favor de um determinado modelo, pois seriam realizados testes para verificar qual seria o melhor modelo. Com exceção desses aspectos, a condução da aula se deu a partir de livre arbítrio da professora.

Em comum acordo, decidimos que, anteriormente à aplicação da Atividade 6, seria viável a retomada do modelo cinético-molecular pela professora devido à falta de

compreensão do mesmo demonstrada por alguns alunos da turma, pois julgávamos que esse conhecimento seria essencial para a participação dos estudantes na Atividade 6⁵¹. Portanto, a professora terminou a primeira aula do dia 01/04/09 com a revisão desse modelo curricular. A revisão seguiu o padrão de interação I-R-A e nela foram destacados os seguintes aspectos:

- Forma e volume de materiais sólidos, líquidos e gasosos.
- Organização das partículas de materiais sólidos, líquidos e gasosos.
- Movimento das partículas de materiais sólidos, líquidos e gasosos.
- Energia associada à movimentação das partículas.
- Mudança de fase de substâncias e misturas.
- Constância da temperatura de fusão e ebulição para substâncias.

Ao final da aula, julgamos que alguns dos aspectos discutidos talvez ficassem mais claros com as atividades de modelagem, pois a professora não conseguiu levar em consideração todas as ideias alternativas de alguns alunos apresentadas durante a discussão, que teve que ser breve e bem focada nas ideias científicas, como exemplificado pelo trecho:

Professora: “Imagine que eu tenho uma panela de cobre, certo? O cobre tem temperatura de fusão de 1083°C. Eu levo essa panela ao fogo, lá no fogão da minha casa, normal, ok? Bom, sabendo que a temperatura lá do meu fogão não ultrapassa os 300°C, essa panela vai fundir se eu deixar ela lá por um determinado tempo?”

Aluno: “Não.”

Professora: “Por que não?”

[Fala confusa]

Professora: “Porque ela precisa de uma quantidade de calor maior, suficiente para atingir essa temperatura. O fogo consegue atingir no máximo 300°C. E se eu deixar lá três dias? Quatro dias?”

Hebert (G₁): “Ela vai até evaporar.”

Professora: “A panela vai evaporar?”

Hebert (G₁): “A panela não, a água.”

Professora: “Não tem água não. É a panela.”

Carlos (G₃): “Vai esquentar demais até pegar fogo.”

Professora: “Será que alumínio, cobre, pega fogo?”

⁵¹ As dúvidas dos alunos sobre o modelo de partículas (por exemplo, organização das partículas de sólidos, líquidos e gases e constância da temperatura de fusão na mudança de fase de substâncias) foram observadas nas atividades anteriores e na entrevista pré-instrução realizada pela pesquisadora.

Hebert (G₁): “Ela vai envermelhar.”

[Falas confusas]

Professora: “Mesmo que o tempo seja maior, se a temperatura não for suficiente, não for idêntica à temperatura de fusão, ele não vai sofrer aquela mudança de estado físico. O calor fornecido não é suficiente para separar as suas partículas, ok? Mas em compensação esse calor é suficiente para separar outros materiais, não é verdade?”

Alunos: (Concordaram)

Após essa recapitulação, a professora forneceu as instruções da Atividade 6.

ATIVIDADE 6

Introdução

A Atividade 6 foi realizada no segundo horário do dia 01/04/09. Inicialmente, a professora deixou claro qual era o objetivo da mesma: justificar se e como o modelo proposto na Atividade 5 explicava a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio, 808°C (subetapa *conduzir experimentos mentais*). Caso explicasse, seria preciso justificar o motivo. Caso contrário, os alunos deveriam propor um novo modelo (subetapa *modificar o modelo* ou *rejeitar o modelo*) e justificar porque o novo modelo explicava o dado.

Grupo 2

Após uma breve discussão entre os componentes do grupo 2, Iara se dirigiu à pesquisadora para lhe dizer que o grupo achava que o modelo (ML.I.₁G₂ – figura 5.2) era capaz de explicar o teste:

Pesquisadora: “Como ele explica?”

Iara: “Porque o nosso modelo representa o processo de fusão.”

A ideia do grupo consistia no fato de que, a partir do modelo do sólido, eles poderiam separar as partículas e obter a substância líquida, como apresentado na figura 5.5:

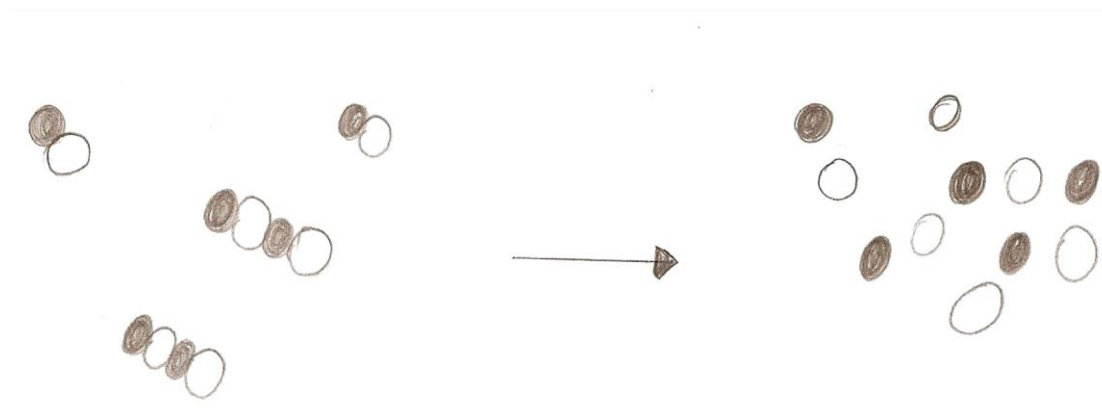


Figura 5.5. Primeira ideia apresentada por G₂ para o teste de ML.I.₁ na Atividade 6.

A justificativa apresentada por lara foi considerada incoerente, porque eles mostraram o processo de fusão, mas não especificaram o motivo de o modelo explicar porque se gasta tanta energia para que mesmo ocorra. A seguir, apresentamos a continuação da discussão.

Pesquisadora: “Isso não explica.”

Raquel: “Não explica?”

Pesquisadora: “Não é que eu esteja dizendo que seu modelo não explica, mas o que você escreveu não explica”.

Raquel: “Mas o meu modelo explica.” {Reafirmou ML.I.₁.}

Pesquisadora: “Como?”

lara: “O nosso modelo tem uns [íons] com mais atração e outros [íons] com menor atração.”

Pesquisadora: “Então vamos lá, o modelo de vocês seria tipo isso daqui [refaz o modelo com materiais concretos], alguns que interagem entre eles, e outros ...”

lara: “Separados. Dependendo da distância a força [de atração].”

Pesquisadora: “Concordo com vocês sobre como é o modelo do líquido, mas vocês têm que pensar no modelo [remetendo ao que eles falaram sobre ML.I.₁] para explicar porque precisa de muita energia.”

lara: (Pensativa sobre o que o modelo devia explicar.)

lara: “Tem que explicar porque ficam separadas [se refere ao líquido]?”

Pesquisadora: “O que eu quero que você me fale é se seu modelo explica por que tem que fornecer tanta energia para separar essas partículas.”

lara: “Como o que?”

Pesquisadora: “Por que tem que fornecer muita energia, que chega até 808°C. E 808°C é muito elevado?”

lara: “É.”

Pesquisadora: “Tanto que a chama do fogão é 300°C. 808°C seria o que? O forno de uma siderúrgica. Então significa que seu modelo vai ter que explicar por que tem

- que fornecer tanta energia para eles [íons] separarem.”
- lara: “Por que tem que fornecer tanta energia?”
- Pesquisadora: “Vocês vão ter me falar se as interações [no cloreto de sódio] são fortes ou fracas.”
- G₂: “As interações são fortes.” {Justificativa para ML.I.2.}
- Pesquisadora: “Mas seu modelo mostra que elas são fortes?” {Refutação a ML.I.1.}
- Igor: “Eu acho que não.” {Refutação a ML.I.1.}
- Pesquisadora: “Eu acho que seu modelo mostra parcialmente. Porque no seu modelo não tem umas que estão assim interagindo com várias [referiu-se ao aglomerado de quatro íons]? E tem umas que estão separadas [referiu-se ao par iônico]? Acho que vocês têm que pensar nisso.”
- lara: “Então você acha que tem que colocar tudo junto ou separado?”
- Pesquisadora: “Aí eu te pergunto: se for separado vai gastar mais ou menos energia?”
- Igor: “Menos energia.”
- Pesquisadora: “Você acha que menos? Então teria que juntá-las mais, porque elas estariam mais atraídas. Poderia gastar mais energia.”
- Igor: “Então a gente vai reformulá-lo.”
- Igor: “Colocando as partículas mais unidas ainda.” {Expressão verbal de ML.I.2 e justificativa para ML.I.2.}

Os diálogos evidenciam que o grupo teve dificuldade para compreender como utilizar ML.I.1 para justificar a elevada temperatura de fusão. Eles chegaram a reafirmar ML.I.1 a partir da fala da lara: “o nosso modelo tem uns [íons] com mais atração e outros [íons] com menor atração”. Entretanto, consideramos que esta fala não tenha sido uma justificativa explícita a favor de ML.I.1, pois parecia não estar claro para o grupo como isso justificaria o fato de consumir tanta energia. De acordo com o vídeo, essa fala indicou que lara apenas retomou uma característica de ML.I.1. A pesquisadora, no papel de antagonista na discussão do grupo, insistiu para que eles pensassem em como ML.I.1 daria conta de explicar o dado. Para auxiliar no pensamento deles, ela disse explicitamente que eles teriam que especificar se as ligações eram fortes ou fracas, com o intuito de refutar ML.I.1. Eles responderam que as interações teriam que ser fortes, isto é, o grupo refutou ML.I.1 (subetapa *rejeitar o modelo*). Igor chegou à conclusão de que eles deveriam reformular o modelo de forma a evidenciar as partículas mais próximas, com mais interação (subetapa *modificar o modelo*). lara não pareceu ter clareza a respeito disso, mas Igor conversou com as colegas sobre a conclusão estabelecida. Nessa discussão temos argumentos contrários a ML.I.1 (A₆) e a favor de ML.I.2 (A₇):

A₆G₂: **ML.I.1 não explica a temperatura de fusão, porque não mostra todas as interações**

fortes. (1.T-C)

Classificamos A_6 como argumento 1.T-C, pois consideramos que a justificativa tinha caráter teórico (relacionado à Lei de Coulomb). Consideramos que nesse caso foi apresentada uma refutação a $ML.I.1$ (subetapa *rejeitar o modelo*) e que esta foi mediada pela pesquisadora.

A_7G_2 : **Vamos ter que reformular $ML.I.1$, pois as partículas tem que estar mais unidas [1] porque as atrações são fortes [2].** (2.T-C)

Classificamos A_7 como argumento 2.T-C devido à utilização dos conhecimentos acerca do modelo de partículas.

A seguir, o grupo 2 apresentou $ML.I.2$ (figura 5.6) (etapas *elaborar um modelo e expressá-lo em alguns dos modos de representação*) para a pesquisadora (a professora estava atendendo outros grupos). Posteriormente, discutiram com ela sobre suas dúvidas:

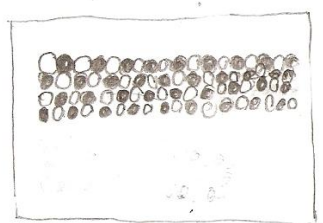


Figura 5.6. $ML.I.2G_4$.

- Igor: “Acho que nem todas [partículas] vão ter a mesma atração do que outras.”
- Pesquisadora: “Oi?”
- Igor: “Uns [íons] vão ter atração maior do que o outro.”
- Pesquisadora: “Pode ser que possa ter uma atração maior ou menor do que a outra. Pode, mas mesmo assim elas vão estar atraindo.”
- Igor: “Então podem ter partículas que vão estar bem unidas e outras que vão estar mais separadas, como se fosse assim [desenha para mostrar que quanto maior a distância, menor a atração] (figura 5.7).”
- Pesquisadora: “Eu concordo com você que essa que está aqui vai interagir mais fracamente com essa que está aqui embaixo, ela vai interagir mais forte com essa que está do lado [remetendo ao desenho, figura 5.7].”
- Pesquisadora: “Se existe essa diferença de atração, como você está falando, justifica a temperatura de fusão ser tão elevada?”
- Igor: “Não?”
- Pesquisadora: “Mas eu concordo com você: essa daqui interage mais com essa daqui porque está aqui embaixo [referindo-se a figura 5.7]. Vocês já estudaram

eletricidade em física?”

Igor: “Ainda não. É terceiro ano.”

Pesquisadora: “Então só adiantando: Tem uma relação que é essa daqui [escreve a fórmula]. O que essa fórmula é? F é igual à força, k é uma constante, Q_1 seria a carga da carga positiva, Q_2 da negativa e o r é igual a distância entre as cargas. Então olha só: a carga positiva interage com a negativa. Essa positiva vai interagir com essa negativa aqui embaixo, mas como elas estão numa distância maior, essa força aqui vai ser menor, porque é inversamente proporcional. Entenderam?”

Igor: “Agora com o modelo reformulado [ML.I.2] está representando melhor porque precisa de tanta energia para separar as partículas, porque há uma maior interação entre essas, não é isso?”

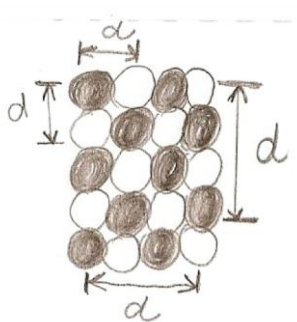


Figura 5.7. Reprodução do desenho feito por Igor para explicar sua ideia sobre a distância entre os íons.

Igor mostrou uma dúvida quanto ao fato de as partículas em ML.I.2 interagirem de forma diferente em função da distância entre elas. Este é um raciocínio coerente e que evidencia o conhecimento implícito da Lei de Coulomb. A pesquisadora lhe disse que concordava com o fato de a atração ser diferente quando a distância variava. Para confirmar se ele tinha compreendido que independentemente disso ML.I.2 explicava a alta temperatura de fusão e, por isso, era diferente de ML.I.1, ela questionou Igor. Ele ficou em dúvida. Posteriormente, a pesquisadora lhe informou sobre a expressão da Lei de Coulomb e a partir disso, pareceu que ele concluiu que ML.I.2 explicava a temperatura de fusão (resultado da subetapa *conduzir experimentos mentais*). No trecho analisado a seguir, fica mais claro que ele percebeu porque ML.I.2 explicava melhor o dado do que ML.I.1.

Com o intuito de checar se o grupo 2 tinha compreendido a adequação de ML.I.2 aos resultados do teste e sabendo que havia modelos moleculares construídos por outros grupos, a pesquisadora questionou o grupo 2 sobre a coerência do modelo deles e dos demais:

Pesquisadora: “Tem gente aqui da sala que está pensando que o modelo é assim [representa algumas ‘moléculas de NaCl’ com os materiais concretos] (figura 5.8). Aqui seria o Na^+ e aqui o Cl^- [par], sem ter ligação entre eles [entre os pares]. Entenderam? Vocês acham que esse modelo explica a temperatura de fusão?”

G₂: “Não {Refutação ao modelo molecular}. Porque eles teriam que estar mais próximos {justificativa 1 teórica}, todos interagindo {justificativa 2 teórica}. Aqui [modelo concreto que demonstra as ‘moléculas de NaCl’] ia gastar uma temperatura menor para separar eles {justificativa 3 empírica}. Aqui vai ter menos atração entre eles {justificativa 2 teórica}.”

Pesquisadora: “Então, o de vocês está mais correto?”

Igor: “Está mais correto para explicar o ponto de fusão.”

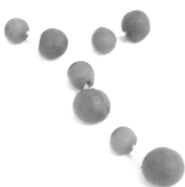


Figura 5.8. Modelo ‘NaCl molécula’ proposto pela pesquisadora para discutir com G₂.

Nesse trecho percebemos que há refutação ao modelo molecular a partir do argumento:

A₈G₂: **O modelo ‘NaCl molécula’ não explica a temperatura de fusão, porque não mostra todas as partículas próximas [1] e com atrações fortes [2], acarretando uma menor temperatura de fusão [3].** (3.T-E-C)

Classificamos A₈ como 3.T-E-C porque há ideias empíricas e teóricas inter-relacionadas para explicar porque o modelo molecular é incoerente.

Para Igor, *ML.I.₂* era melhor, especificamente para explicar a temperatura de fusão (*abrangência do modelo*). Julgamos que, nesse caso, havia entendimento do que seria o teste do modelo e uso de elemento retórico em sua fala quanto à plausibilidade de *ML.I.₂*. Ao final da discussão da Atividade 6, reconstruímos o argumento (A₉) que demonstrou todo raciocínio empregado no teste do modelo. Esse argumento foi classificado como 4-T-E-C-R:

A₉G₂: ***ML.I.₁* e modelo ‘NaCl molécula’ não explicam a temperatura de fusão. *ML.I.₂* é plausível porque mostra partículas próximas [1], com várias atrações [2], cuja força varia com a distância [3].** (4.T-E-C-R)

Esse é um argumento científico curricular de nível 4 porque nele há uma ponderação quanto ao fato de $ML.I.1$ e do modelo 'NaCl molécula' não explicarem o dado, enquanto $ML.I.2$ é coerente por explicar esse dado por duas razões principais (existirem várias atrações e elas serem fortes). Classificamos como nível 4, apesar de nesse caso não haver uma justificativa empírica explícita, porque pela discussão do grupo foi possível entender que todas as justificativas teóricas visavam explicar o dado experimental.

O grupo 2 modificou seu modelo centralmente ao se deparar com um dado secundário, inicialmente anômalo a $ML.I.1$. Para isso, contou com o suporte da pesquisadora⁵² com relação às questões colocadas com o intuito de refutar $ML.I.1$ (antagonista), auxiliar na construção de argumentos de defesa de $ML.I.2$ (protagonista) e possibilitar discussão sobre um modelo distinto ao do grupo com o intuito de levar os estudantes a perceber o grau de força do modelo proposto por eles.

Ao final do fechamento da Atividade 6, Sônia e Júlia reclamaram com a professora sobre o fato de os demais integrantes do grupo não se importarem com a opinião delas e não incluí-las nas discussões. Entretanto, não percebemos uma postura delas de se impor explicitamente com alguma opinião para o grupo. A partir desta aula, Diana parou de frequentar a escola. Portanto, as discussões se concentraram em quatro componentes do grupo: Iara, Raquel, Igor e Maria.

Grupo 4

Inicialmente, as alunas do grupo 4 deram uma resposta não satisfatória para justificar porque $ML.I.1G_4$ (figura 5.4) explicava a elevada temperatura de fusão. A pesquisadora discutiu com elas de forma a elucidar o que era para ser explicado com base no modelo, como evidenciado nas falas destacadas a seguir:

G₄: "Sim, porque o calor que o fogão a gás transmite não é suficiente para as partículas do sal se separarem."

Pesquisadora: "Sim em relação ao modelo?"

G₄: "Sim ao nosso modelo."

Pesquisadora: "Mas como? Deixa eu relembrar o modelo de vocês. Faz rapidinho com as bolinhas para mim."

⁵² Como a turma era composta por seis grupos com muitos alunos, que sempre pediam auxílio à professora, a pesquisadora discutiu com alguns grupos no papel de professora e também visando coletar dados para a pesquisa. A professora havia lhe dado liberdade para isso e, à medida que as aulas transcorriam, os alunos demonstraram mais confiança em conversar com ela.

- G₄: “Depois que a água evapora?”
- Pesquisadora: “Depois que a água evapora.”
- G₄: (Refaz ML.I.1, figura 5.4)
- Pesquisadora: “Ah, lembrei. Vocês colocaram positivo e negativo, positivo e negativo, formando tipo uma rede?”
- G₄: “É.”
- Pesquisadora: “Então?”
- G₄: (sem resposta)
- Pesquisadora: “Esse modelo de vocês mostra várias ligações do cátion com o ânion. Então o que eu estou perguntando é se 808°C, que é uma temperatura muito grande, se esse modelo explica porque precisa de tanto para separar, porque quando vai para o líquido, elas [partículas] separam.”
- Pesquisadora: “Vocês lembram quando a professora falou que no líquido elas estão espalhadas e no sólido elas estão mais juntas? Para passar para o líquido elas têm que se espalhar. Eu quero que vocês me mostrem se esse modelo explica porque precisa de tanta energia para elas separarem.”
- Paola: “Por que elas estão muito juntas?”
- Pesquisadora: “Seria: por que elas estão muito juntas? Por que elas estão muito atraídas? Se a atração é forte ou se ela é fraca? É isso?”
- G₄: “Ah, sim.”
- Pesquisadora: “Você acha que seu modelo tem atração forte, então explica.”
- Paola: “Sim?”
- Pesquisadora: “Se fosse fraca explicaria?”
- G₄: “Não.”
- Pesquisadora: “Porque se fosse fraca...”
- Paola: “Seria muito fácil distanciar as partículas.”

A primeira fala do grupo 4 foi considerada como incoerente porque as alunas não levaram em consideração o modelo, mas forneceram uma explicação genérica. A seguir, a pesquisadora questionou sobre a relação do dado com o modelo e pediu para que elas recapitulassem ML.I.1, pois não era claro (em função da dúvida sobre se seria antes ou após a evaporação da água) com qual modelo elas deveriam raciocinar. Como nenhuma explicação havia surgido, a pesquisadora direcionou mais as questões, mas mesmo assim as respostas mostravam dúvidas quanto à explicação, o que diferencia consideravelmente este diálogo do apresentado anteriormente para o grupo 2 (refutação de ML.I.1G₂), que mostrou mais firmeza na resposta.

Posteriormente, as alunas chamaram a pesquisadora para mostrar a resposta que tinham formulado: “O modelo explica porque mostra atrações fortes” (resultado da subetapa *conduzir experimentos mentais*). Tivemos indícios de que esta ideia estava mais

clara quando Cristiane a expressou na discussão final (comentada a seguir). Assim, consideramos que elas formularam um argumento científico curricular do tipo 1.T-C:

A₃G₄: **ML.I.1 explica a temperatura de fusão por mostrar atrações fortes.** (1.T-C)

Em seguida, assim como havia feito em relação ao grupo 2, a pesquisadora questionou as alunas se o modelo molecular seria capaz de explicar a elevada temperatura de fusão do NaCl. Cristiane respondeu que “não”, mas, naquele momento, não houve uma justificativa plausível.

Considerações Finais

Inicialmente, a professora especificou para a turma que o objetivo daquela discussão era socializar os modelos e analisar a coerência dos mesmos frente ao teste. Ela comentou que, ao final da Atividade 6, existiam dois tipos de modelos, que foram representados por ela em material concreto. Ela mostrou o primeiro modelo (vários pares iônicos independentemente interagindo) e depois mostrou o segundo modelo (vários íons interagindo numa rede). Ela questionou sobre o que havia de comum aos dois modelos. Cristiane respondeu (o vídeo mostrou grande entusiasmo dela na discussão) que eles mostravam a “atração entre cargas opostas” (argumento da turma). Em seguida, a professora questionou sobre o motivo de algumas pessoas terem organizado as atrações de forma distinta, isto é, com ou sem pares isolados. Nesse momento, Cristiane defendeu o modelo de seu grupo, mostrando com gestos que “as partículas se atraem e ficam juntas”. Aqui temos indício de que o grupo 4, pelo menos a aluna Cristiane, tinha compreendido porque o modelo em rede explicava o teste. Nesse ponto, a professora começou a convergir a discussão para o modelo em rede:

Professora: “Porque ele [cloreto de sódio] é um material sólido e num material sólido a atração é...?”

Alunos: “Maior.”

Professora: “Maior entre as partículas.”

Carlos (G₃): (Questiona se a rede seria um grão de sal.)

Professora: “Não, isso não é uma pedrinha, isso é uma parte imensamente pequena de uma pedrinha. É importante demais comentar isso porque estamos fazendo um modelo que representa uma situação que a gente não vê mesmo. Qual é a ideia? É representar uma situação que explique os dados experimentais, não é verdade? Qual foi o dado experimental apresentado? Baseado em que a gente reformulou o modelo? Aliás, foi um teste para o nosso modelo. Foi a...?”

G₆: “Temperatura de fusão”.

Professora: “A questão dizia assim: cloreto de sódio não pode ser fundido no fogão porque sua temperatura de fusão, 808 °C, é muito alta. E a questão era, o seu modelo, que você tinha feito antes, explicava isso? Ai eu vou perguntar para vocês: este modelo explica porque a temperatura de fusão é bastante alta?” [remetendo ao modelo em rede]

Alunos: “Sim.”

Professora: “Por que explica?”

Igor: “Porque precisa de uma quantidade maior de energia para separar as partículas.”

Professora: “Precisa de uma quantidade maior de energia para separar essas partículas. Por que elas estão...?”

Igor: “Bem unidas.”

Nesse trecho, além de direcionar a discussão para o modelo em rede, a professora tentou deixar claro que a rede não era a representação de um grão de sal, que foi uma ideia apresentada constantemente pelo grupo 3 (tanto que a professora gastou boa parte da aula de discussão da Atividade 6 com esse grupo tratando dessa ideia⁵³). Essa ideia poderia ter sido pensada por mais algum aluno da turma, pois é comum que eles pensem dessa forma, como evidenciado pela literatura (Taber, 1994, 1997). Nesse trecho, Igor enfatizou as ideias apresentadas na discussão do teste evidenciadas anteriormente, isto é, ele defendeu o modelo do grupo 2 com um argumento similar a A₉.

A seguir, a professora tentou deixar claro porque o modelo de pares iônicos não era coerente como o modelo em rede:

Professora: “Imagine que eu tenha isso aqui: a atração entre essa partícula e essa [no par iônico], tem a mesma intensidade que esta e essa [entre os pares iônicos]?” [utilizou um modelo concreto para demonstrar] {Refutação ao modelo de pares iônicos.}

G₃: “Tem.” (Grupo que propôs um modelo de pares iônicos).

Aluno: “Não.”

Professora: “Tem, por quê?”

Cristiane: “Eu acho que não, porque se tivesse, elas iam se unir.” {Refutação ao modelo de pares iônicos.}

(Muito compenetrada na discussão, querendo expor mais suas ideias).

Igor: “Acho que não.”

Professora: “Por que você acha que tem Carlos? Essa atrai essa [par iônico] com a mesma intensidade que essa atrai essa [entre os pares]?” [pergunta voltada para aqueles que propuseram o modelo de pares].

⁵³ Durante a discussão, a professora disse ao grupo que o par iônico não representava o grão. Então, o grupo questionou se a rede poderia representar o grão.

- G₃: “Tem positivo com negativo.”
Professora: “É só porque é positivo e negativo? Independe da distância?”
Aluno: “Não.”
G₆: “Tem relação com o espaço.”
Professora: “Então, com esse espaço maior você acha que atrai mais ou atrai menos?”
G₄: “Menos.”
Professora: “Atrai menos. Se a atração aqui [entre os pares] é menor, seria mais ou menos difícil separá-las durante a fusão?”
Cristiane: “Mais fácil, bem mais fácil.”

Nesse trecho observamos que a professora fez uma colocação importantíssima para a refutação do modelo de pares iônicos: a magnitude da atração nos pares é diferente da atração entre os pares, logo o modelo em pares não explicaria o dado. Assim, ela agiu como antagonista no intuito de encaminhar os modelos da turma para um consensual mais próximo do curricular. É possível perceber que a professora controlou muito bem a discussão, pois ela deu chance aos alunos do grupo 3 de argumentar porque eram a favor do modelo de pares iônicos, pois os alunos Igor e Cristiane estavam afoitos com a discussão e queriam colocar suas ideias de defesa ao modelo em rede. O argumento proposto pelo grupo 3 (existência de diferentes cargas) foi frágil. Por outro lado, os argumentos de Cristiane e da professora foram bastante satisfatórios para defesa do modelo em rede. Na socialização, Cristiane conseguiu refutar o modelo de pares iônicos, pois, na discussão com a pesquisadora, seu grupo não tinha apresentado qualquer justificativa contrária a esse modelo. Dessa forma, reconstruímos as ideias expressas por Cristiane durante a socialização, o que nos conduziu a um argumento do tipo 4-T-E-C-R:

A₄G₄: **Modelo em rede explica o dado porque as partículas estão interagindo próximas umas às outras** [1]. **Modelo ‘NaCl molécula’ é incoerente porque se as interações entre as partículas fossem iguais, elas deveriam se unir** [2] (4.T-E-C-R).

Julgamos que o argumento é de nível 4 porque a aluna defendeu a plausibilidade do seu modelo e atacou o modelo molecular, com um raciocínio bastante coerente: se a magnitude das interações fosse a mesma (no par e entre os pares), os íons deveriam se unir, conduzindo, portanto, a uma rede.

Quando discuti com a professora sobre a Atividade 6, comentei sobre a importância de deixar claro que a interação no par iônico era distinta da interação entre os pares iônicos em virtude de minhas experiências anteriores de aplicação da estratégia de ensino.

Comentei com ela que o encaminhamento para um determinado tipo de modelo iria depender das discussões nos grupos e com a turma.

ATIVIDADE 7

Introdução

A Atividade 7 foi aplicada no dia 02/04/09, pois a professora havia conseguido um horário-extra para terminar as atividades antes da semana de avaliações da escola. Ela foi discutida no dia 03/04/09 no horário regular da aula de química.

Por mais que a professora tivesse convergido o fechamento da Atividade 6 para o modelo em rede, este podia não ser claro para todos, inclusive para o grupo 3 (que havia defendido o modelo 'NaCl molécula'). Assim, ela deixou bem claro qual seria o objetivo da Atividade 7: confirmar qual modelo explicava o comportamento do cloreto de sódio a partir de um novo teste (subetapa *conduzir experimentos mentais*). A seguir, ela leu as informações expressas na atividade sobre os aspectos energéticos e enfatizou a importância de testar um modelo para perceber a coerência do mesmo.

Grupo 2

O grupo 2 havia feito uma modificação periférica em $ML.I_2$ (figura 5.6), como pode ser visto na figura 5.9:



Figura 5.9. $ML.I_2'G_2$.

Segundo Iara e Igor, $ML.I_2'$ evidenciava as interações dos vários grãos do cloreto de sódio, sendo que cada um deles seria composto por milhares de íons Na^+ e Cl^- organizados numa rede. Não classificamos esse argumento como científico curricular por expressar ideias

antagônicas relativas ao modelo da substância iônica⁵⁴, porque a distinção entre a magnitude das interações entre os íons e pares de íons já havia sido discutida na Atividade 6 e porque a Atividade 7 tinha o objetivo de convergir ao modelo curricular. Segue-se a discussão da professora com o grupo a respeito dessa ideia:

Professora: “Por que vocês quiseram mostrar os grãos?”

Iara: “Porque a gente vê a atração deles assim.” [A interação entre cada uma das redes, cada um dos grãos].

Professora: “Se fosse um NaCl que não tivesse vindo do mar, tivesse vindo por exemplo de uma reserva mineral, vocês sabem que tem? O cloreto de sódio pode ser encontrado como mineral?” {Refutação a $ML.I_2'$.}

Iara e Igor: “Não sabíamos.”

Professora: “Então ao invés de pedrinhas, seria uma grande rocha de NaCl. E aí?”

Iara: “E aí que seriam milhões e milhões de cloreto de sódio.”

Professora: “Milhões e milhões do que?”

Iara e Igor: “De partículas unidas.”

Professora: “De partículas unidas, ok? Eu realmente queria compreender porque vocês julgaram importante desenhar os cristais separadamente.

Iara: “A gente chegou à conclusão que ... que tem milhões de cloretos de sódio, milhões de partículas.”

Igor: [Se dirigindo a Iara] “A professora quer saber por que não colocamos todas as partículas unidas.”

Iara: “Tudo unido?”

Ao analisar $ML.I_2'$, a professora percebeu que haviam ideias incompatíveis no mesmo, pois persistia a ideia de rede, mas havia interações entre essas redes. Assim, ela tentou refutar $ML.I_2'$ quando lhes disse que o NaCl também poderia ser encontrado como um mineral. Isso fez Igor e Iara repensarem a modificação periférica do modelo:

Igor: “Nós tentamos mostrar milhões, milhares de partículas unidas. E aqui nós estamos demonstrando uma pequena quantidade e a pessoa que está analisando não vai conseguir entender.”

Professora: “Importante que nesse único grão eu tenho uma quantidade enorme dessas partículas, não é verdade? Paula, você concorda comigo?”

Pesquisadora: “Concordo.”

Professora: “Ou você acha que a representação dos grãos diferentes acrescenta ao modelo?”

Pesquisadora: “Eu concordo com você.”

⁵⁴ De acordo com a literatura, $ML.I_2'$ é um modelo ‘híbrido’ (Justi & Gilbert, 1999), pois demonstra ideias provenientes de dois tipos de modelos distintos como se elas constituíssem um todo coerente. Em aplicações anteriores da estratégia, pude constatar a construção de modelos híbridos com fundamentos similares a este.

(Alguém de G_2 comenta que eles deviam colocar tudo unido novamente).

Professora: “Você não tem certeza da forma, da organização, certo?”

G2: (concordam)

Professora: “Porque isso vai diferenciar o modelo de vocês do científico. E vocês não tem dados para isso.”

O grupo retornou ao $ML.I.2$. A professora agiu como antagonista na discussão com o intuito de refutar a ideia de que há várias redes interagindo, mas apenas interações entre cargas organizadas em alguma estrutura que eles não sabiam qual era por falta de dados. Igor demonstrou em sua fala (“que alguém poderia não entender o modelo do grupo”) que se preocupava não apenas em expor o modelo para a professora, o que parece evidenciar uma postura relacionada ao fazer científico (‘doing science’). A ideia de que há uma unidade mínima de formação do NaCl (retículo cristalino) foi melhor explorada no fechamento da Atividade 7 quando a professora apresentou os slides com os modelos (a seguir).

A pesquisadora percebeu que o grupo não havia se preocupado com o dado da Atividade 7 na justificativa do modelo. Ela perguntou a eles se o modelo explicava o que estava escrito no texto [da Atividade 7]. Iara respondeu que “sim” em tom de dúvida e não foi apresentada justificativa para o ponto de vista.

Grupo 4

O grupo 4 propôs uma modificação periférica em $ML.I.1$ (figura 5.4), como pode ser visto na figura 5.10:



Figura 5.10. $ML.I.1'$ G_4 .

As alunas disseram que $ML.I.1'$ expressava as mesmas ideias de $ML.I.1$, exceto a organização. Elas informaram à professora que o formato circular ($ML.I.1$) “limitava a possibilidade de mostrar as interações dos íons” e que a forma expressa em $ML.I.1'$ facilitaria a “compreensão das outras pessoas”. Essa última visão pode ser um indício do entendimento de que o

modelo não deveria ser apenas apresentado à professora, mas que deveria ser compreensível aos demais ('doing science').

A pesquisadora perguntou o grupo se $ML.I_1$ explicava o dado experimental apresentado na Atividade 7. Segundo elas: "Quando há união de um Na^+ e Cl^- é 104,5, quando é a união de vários é 206. Muitas partículas unidas, organizadas é mais coerente" (subetapa *conduzir experimentos mentais*). Elas disseram à pesquisadora que o dado serviu para comprovar o modelo proposto por elas anteriormente. Julgamos que elas apresentaram um argumento do tipo 4-T-E-C-R pelo inter-relacionamento do dado com o que é explicitado teoricamente no modelo (várias partículas ligadas) e pela ênfase no poder explicativo do mesmo em relação ao modelo de pares iônicos.

A₅G₄: ***Apenas $ML.I_1$ explica o dado (206kcal/mol) [1] porque nele as partículas estão unidas e organizadas [2].*** (4.T-E-C-R)

Entretanto, elas não relacionaram explicitamente o dado 206kcal/mol com a maior estabilidade da substância devido ao maior abaixamento de energia.

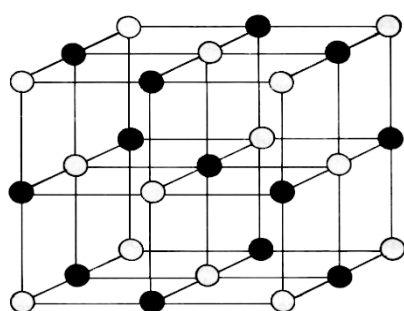
As alunas Joana e Aline faltaram a algumas aulas e participaram muito pouco dessa discussão em comparação às demais alunas do grupo.

Considerações Finais

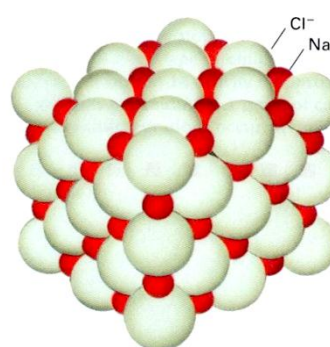
O fechamento da Atividade 7 foi realizado em sala de aula para poupar tempo, pois não havia mais necessidade de os estudantes se reunirem nos grupos e nem experimento para ser realizado no laboratório. A professora começou a aula recapitulando os dois testes que haviam sido realizados com o intuito de perceber a coerência dos modelos e os discutiu a partir de um padrão de interações do tipo I-R-A. Ela relembrou as duas propostas (rede e de pares iônicos) que haviam surgido na turma. Ela também comentou que a partir do teste da Atividade 6 (temperatura de fusão), tinha sido possível concluir que o modelo de aglomerado de íons seria mais eficiente para explicar o dado. Nesse momento, esse modelo foi defendido por Cristiane ao afirmar que "explica melhor porque a atração entre os íons é mais forte", que é um argumento similar ao A₃ apresentado na discussão do grupo na Atividade 6. A professora completou dizendo que isso levaria a um maior gasto energético para fundir, o que explicava o elevado valor da temperatura de fusão do NaCl. Visando não apenas desvalorizar o modelo que mostrava pares iônicos, mas também enfatizar algum

ponto positivo do mesmo (aspecto importante em termos de valorização das ideias dos alunos), a professora disse que ele servia para explicar a proporção 1:1 do composto e que mostrava a atração entre os íons de cargas opostas. Em seguida, ela questionou a turma se as questões relativas à energia envolvida na formação do NaCl eram explicadas pelo modelo em rede. Cristiane respondeu que “explica”, mas não forneceu justificativa e essa não foi solicitada pela professora. Logo após, a professora comentou que o cloreto de sódio sólido não conduzia corrente elétrica e que o modelo proposto explicava esse dado, pois ele não mostrava íons livres. Ela também falou que o cloreto de sódio líquido conduzia corrente elétrica e que os modelos para o cloreto de sódio líquido (Atividade 6) que evidenciavam íons livres, explicavam esse dado. Dessa forma, a professora listou os testes que o modelo consensual da turma (modelo em rede) explicava com o intuito de que os alunos percebessem que um bom modelo para ligações químicas teria que ser capaz de explicar as propriedades das substâncias e dos materiais. A professora considerou que o modelo em rede era consensual porque os alunos que haviam expressado o modelo molecular conseguiram reformulá-lo na Atividade 7, com auxílio dela.

A seguir, a professora comentou que tinha ficado muito feliz com a evolução dos estudantes durante as atividades de modelagem, pois eles estavam se mostrando mais seguros em suas conclusões⁵⁵. Ela comentou com a turma que eles tinham conseguido chegar muito próximo do modelo aceito cientificamente, que foi apresentado por ela (figura 5.11).



Modelo 1



Modelo 2

Figura 5.11. Modelos científicos para o NaCl.

⁵⁵ Anteriormente, em conversas com a pesquisadora, a professora havia se mostrado bastante preocupada quanto ao andamento das demais atividades devido à grande dificuldade dos estudantes nas Atividades 3 e 4, pois eles não conseguiam evoluir sem chamá-la constantemente.

A professora comentou sobre os aspectos similares do modelo consensual da turma e do modelo científico (etapa *verificar abrangências e limitações do modelo*): atrações entre íons de cargas opostas e aglomerado de íons, que deveria ser denominado de estrutura cristalina ou retículo cristalino. Ela comentou que os modelos propostos pelos alunos eram mais similares ao modelo 2, mas que eles não haviam se preocupado em evidenciar a diferença no tamanho dos raios dos íons e com o fato de a estrutura ser tridimensional. Ela contou, juntamente com os alunos, o número de ligações efetuadas por cada íon no modelo 1 e enfatizou o que cada um dos modelos representava melhor, por exemplo, no modelo 1 era mais claro o número de ligantes; o modelo 2 levava em consideração o tamanho dos íons.

Ela também comentou sobre a importância de se testar um modelo e que isso é feito na ciência. Por fim, parabenizou os estudantes pela participação, enfatizando a importância da participação ativa dos mesmos para um bom andamento do processo.

Todos os aspectos importantes que deviam ser explicitados no fechamento e as principais características sobre o modelo curricular para as ligações iônicas que haviam sido previamente discutidos entre professora e pesquisadora foram devidamente destacados pela professora na aula de fechamento.

É importante destacar que a professora tinha uma ótima relação com os alunos. Em todas as aulas filmadas, nenhum deles pedia para se ausentar da sala para beber água, ir ao banheiro etc. A professora raramente tinha que chamar atenção de algum aluno por motivo de conversa, mau comportamento etc. Por outro lado, como usual no ensino público noturno, a falta de alunos era bastante frequente, o que dificultava a participação de alguns, pois dependendo das aulas perdidas ficava difícil para o aluno se situar no processo.

Os pontos de vista dos colegas eram respeitados durante os fechamentos das atividades, pois não percebemos que qualquer aluno julgava seu ponto de vista melhor do que o do colega. Às vezes aconteceu de um aluno querer expressar seu ponto de vista no lugar do outro por vontade de expor as ideias na discussão, mas não por julgar a ideia do outro descabida.

Todas as atividades de modelagem foram valorizadas com nota pela professora, bem como a participação dos alunos, o que julgamos ser totalmente coerente em virtude do grande empenho deles e pelo fato de elas terem consumido maior parte do bimestre letivo.

A professora pediu à turma que respondesse a Atividade 8 em casa. Ela discutiu a Atividade 8 juntamente com um texto sobre ligações químicas (escrito pela pesquisadora) que os alunos receberam. Nele, há informações sobre ligações químicas em termos energéticos e o modelo curricular para as ligações iônicas. A prova realizada pelos alunos sobre ligações químicas e ligações iônicas foi elaborada conjuntamente pela professora e pela pesquisadora e era constituída de questões relacionadas com as aulas vivenciadas por eles⁵⁶.

5.2. ESTUDO DE CASO PARA O ENSINO DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES

A professora trabalhou com os conteúdos de ligação metálica e ligação covalente antes da aplicação da estratégia de ensino de introdução ao tema interações intermoleculares. Os conceitos relacionados à ligação covalente (compartilhamento de elétrons de valência e ligação simples, dupla e tripla) eram pré-requisitos para essa estratégia de ensino. As aulas em que esses conteúdos foram ministrados não foram acompanhadas pela pesquisadora porque julgamos que não contribuiriam para a análise. Segundo a professora, ela se baseou no livro didático adotado por ela para programar as aulas⁵⁷. De forma geral, ela disse que apresentou os conceitos principais e posteriormente, introduziu exemplos e/ou aplicações dos mesmos.

ATIVIDADE 1

Introdução

A Atividade 1 foi aplicada no dia 22/05/09 (1 horário). Inicialmente, a professora explicitou os objetivos da mesma: fazer previsões relativas ao comportamento de iodo e grafite quando aquecidos; realizar o experimento; propor uma explicação para o ocorrido e compará-la com as previsões (subetapa *ter experiências com o alvo*). Ela também enfatizou a importância de se utilizar os conhecimentos prévios na realização de previsões.

Grupo 2

⁵⁶ Tanto o texto quanto a prova não são apresentados nesta tese por não terem qualquer influência nos aspectos aqui discutidos.

⁵⁷ Química e Sociedade de Wildson Luiz Pereira dos Santos, Gerson Mol e outros, Editora Nova Geração, Volume único.

O grupo 2 passou a ser constituído apenas pelos alunos Igor, Iara e Raquel. Maria havia migrado para o grupo 5. Sônia e Júlia migraram para o grupo 6. Diana não mais frequentava a escola.

Logo no início da Atividade, os alunos do grupo 2 perguntaram à pesquisadora os valores das temperaturas de fusão do grafite e do iodo. Ela lhes informou que para o grafite o valor era de aproximadamente 3000°C e para o iodo 114°C.

Após algumas discussões iniciais, eles explicitaram suas previsões: “o iodo vai fundir porque ele tem temperatura de fusão mais baixa que a da chama, enquanto que o grafite vai ficar estável, não vai sofrer transformação”. Eles disseram à professora que tinham chegado a essas conclusões devido aos dados de temperatura de fusão buscados com a pesquisadora. O raciocínio dos alunos, baseado nos dados empíricos, é coerente com a Atividade 6 de modelagem realizada anteriormente, na qual eles haviam comparado o aquecimento do fogão à gás com a temperatura de fusão do cloreto de sódio. Essa ideia foi usada para reconstruir um argumento do tipo 1.E-C:

A₁₀G₂: **O iodo vai fundir e o grafite não vai fundir** porque o primeiro tem temperatura de fusão menos elevada do que a da chama, enquanto o segundo tem temperatura de fusão mais elevada do que a da chama. (1.E-C)

A₁₀ foi classificado como 1.E-C devido à comparação dos dados de temperatura de fusão e da chama.

Ao avaliar A₁₀, a professora solicitou que eles pensassem na relação dos dados com as ligações presentes nas substâncias, isto é, com o submicroscópico.

A seguir, Iara informou que eles haviam reformulado a justificativa para o ocorrido se baseando apenas no que eles sabiam (modelo de partículas) (subetapa *selecionar a origem para o modelo*), isto é, eles não levaram em consideração como seria a constituição específica dos sólidos, porque não tinham clareza sobre isso. Isso demonstrou entendimento sobre o que a professora havia solicitado: reformular a explicação levando em consideração algum aspecto do nível submicroscópico. Em seguida, Igor afirmou que “o grupo concordou que no caso do iodo há rompimento das ligações do material e no caso do grafite, apenas vibração das partículas, pois para fundir é necessário chegar a 3000°C”. Assim, o argumento pode ser reconstituído como:

A₁₁G₂: **No iodo há rompimento de ligações [1] porque sua temperatura de fusão é baixa [2]. No grafite há apenas vibração das partículas [1] porque sua temperatura de fusão é elevada [2].** (3.T-E-C)

Consideramos que os alunos apresentaram um argumento científico curricular de nível 3.T-E-C, porque eles relacionaram a baixa temperatura de fusão do iodo e a alta temperatura de fusão do grafite (subetapa *ter experiências com o alvo*) com o rompimento ou não de suas ligações, sem enfatizar o tipo de ligação, porque esse conhecimento, julgado prévio, não era claro para o grupo (como mostrado a seguir).

A pesquisadora perguntou para o grupo se eles sabiam qual era a fórmula química do iodo e do grafite:

Pesquisadora: “Você sabe de que é composto o iodo? A fórmula da substância?”

Igor: (Negou com a cabeça)

Pesquisadora: “Vocês estudaram ligação covalente com a professora, certo?” Ligação covalente é feita por ametais, ok? O iodo é ametal. O iodo é composto de átomos de iodo, da coluna 7A da tabela periódica ou 17. Vocês não lembram disso?”

(Silêncio)

Pesquisadora: “Eu estou querendo que vocês pensem no seguinte: iodo é um átomo que tem sete elétrons de valência. Se ele tem 7 elétrons de valência, como eles se combinam?”

Raquel: “Um igual a ele?”

Pesquisadora: “É. Outro átomo de iodo.”

Igor: “Fica um I com outro I ligado e compartilhando elétron [demonstrou a ideia por gestos].”

Pesquisadora: “Então, isso dá a fórmula dele?”

Igor: “I₂. No caso cada um tem sete, cada um precisa de ganhar, então fica um elétron dividido entre os dois átomos.”

Pesquisadora: “É, I₂ é uma substância simples. E o grafite de que ele é formado?”

(Silêncio)

Pesquisadora: “É a mesma formação do diamante.”

(Todos concordaram que a professora havia dito, mas que eles haviam esquecido).

Pesquisadora: “As substâncias são diferentes, mas são formadas pelo mesmo átomo.”

Igor: “Ela [se referiu à professora] falou, só que eu não lembro. Eu lembro que a professora falou que o diamante risca qualquer coisa, mas não é riscado. Ele é o material mais duro, mas eu não lembro do que ele é feito.”

Pesquisadora: “O grafite e o diamante são formados por carbono. O iodo é I₂ e o carbono é C.”

Assim, percebemos que os alunos do grupo 2 não tinham os conhecimentos prévios esperados para as Atividades 1 e 2 (ligação covalente e constituição do iodo e grafite). Nessa aula, os alunos não reformularam suas respostas levando em consideração a constituição dos sólidos, isto é, eles somente apresentaram ideias relacionadas ao modelo de partículas de forma geral.

Grupo 4

O grupo 4 teve dificuldade de iniciar a Atividade porque as alunas não tinham entendido o que era uma previsão:

- G₄: “Como se faz isso aqui?” [referiu-se à previsão]
Professora: “É o que vocês imaginam que ocorrerá quando cada uma dessas substâncias for aquecida.”
G₄: “Se ele vai fundir, derreter.” [referiu-se ao iodo]
Professora: “Se após o aquecimento vocês acham que ele vai fundir, ok.”
Professora: “Então façam o experimento para ver se vai fundir.”
Paola: “E se isso não acontecer a gente tem que apagar isso?”
Professora: “Não, a previsão não necessariamente tem que estar certa.”

Em seguida, o grupo ficou sem compreender porque era necessário aquecer os dois sólidos por 3 minutos. A pesquisadora auxiliou as informando que o tempo era fixado por motivo de comparação. As alunas gastaram a maior parte do tempo com a parte procedimental, discutindo sobre qual a melhor denominação para a cor dos sólidos e desviando a atenção para aspectos do fenômeno não relevantes de acordo com as questões. Supostamente devido a isso, não há discussões relevantes que possam contribuir para a análise dos dados.

Considerações Finais

Inicialmente, a professora enfatizou a importância de se realizar previsões na ciência e a relevância da utilização dos conhecimentos prévios nas previsões e na construção dos modelos. A seguir, ela retomou, junto aos estudantes, as evidências experimentais relevantes para a discussão. Após essa retomada, ela questionou a turma sobre o motivo de terem ocorrido divergências no comportamento dos sólidos frente ao aquecimento. Hebert (G₁) respondeu que a “temperatura de fusão do iodo era mais baixa que a atingida pela chama e a do grafite era mais alta”. A professora disse que isso era coerente, mas que seria necessário pensar na constituição dos materiais e nas ligações presentes neles para justificar melhor. Ela explicitou que o modelo de partículas poderia auxiliar nesse raciocínio. Quando

ela questionou “o que é necessário para que as transformações ocorram?”, um estudante respondeu algo relacionado ao “papel do calor”. A professora utilizou essa ideia para comentar sobre a importância da energia para separar as partículas e que isso se relacionava com o tipo de ligação existente em cada substância. Ela concluiu, junto com a turma, usando um padrão de interações do tipo I-R-A, que: “Vocês me falaram que o calor é fundamental para separar essas partículas. Nós não conseguimos fazer essa separação no grafite. Portanto, a gente pode concluir que a atração que existe no grafite é muito mais forte do que aquela presente no iodo. Isso tem coerência? Tem coerência? Está de acordo com os fatos experimentais? Está de acordo sim, ok.” Assim, a professora enfatizou o aspecto fundamental da Atividade 1, como anteriormente acordado com a pesquisadora.

Ela não pediu para que cada grupo comentasse sobre as divergências entre a previsão e o experimento, mas comentou um caso especial (grupo 3), em que os estudantes tinham julgado que iodo sofreria uma queima, assim como o magnésio da Atividade 3:

Professora: “O que ocorreu com o iodo foi uma transformação química?”

G₃: “Foi.” {Afirmativa 1.}

Professora: “Foi? Então vamos lembrar: uma transformação química é aquele fenômeno que ocorre com produção de novas substâncias. Ai eu te pergunto Carlos: ao aquecer o iodo sólido, apareceu alguma substância nova, que não existia antes?” {Refutação a afirmativa 1.}

Alunos: “Não, apareceu um líquido.” {Afirmativa 2.}

Professora: “Aquele líquido era o que?”

Alunos: “Do próprio iodo, não?” {Afirmativa 2.}

Professora: “O iodo que estava líquido. E aquela fumaça era o que? O iodo no estado gasoso. Então prestem atenção: falem para mim uma evidência que possa provar que aquele vapor que era roxo era daquele sólido cinza. Me fala uma evidência que nos mostra que aquilo realmente era o iodo líquido e gasoso.”

Hebert (G₁): “Que só tinha uma substância, então não foi reação.” {Justificativa da afirmativa 2.}

Professora: “Mas eu posso aquecer uma substância e obter outra. Por exemplo, eu posso pegar bicarbonato de cálcio e aquecer e uma única substância vira outra. Ele se transforma num gás, por exemplo.” {Refutação à justificativa da afirmativa 2.}

[Falas confusas]

Professora: “Mas eu quero uma evidência que prove que aquele gás roxo é o iodo mesmo, que não mudou, que não produziu nada novo”.

[Falas confusas]

Professora: “Eu quero uma evidência da experiência que mostre que aquilo que aconteceu com o iodo não é uma transformação química, foi simplesmente uma mudança de estado físico.”

- Aluno: “O sólido final.” {Evidência para a afirmativa 2.}⁵⁸
- Professora: “Isso. Eu vi o iodo passar para líquido, eu vi o líquido passar para gasoso e depois do aquecimento eu vi na borda do tubo que tinha formado aquela mesma substância que estava no início, ou seja, não produziu nenhuma substância nova. Então não é transformação química, ok?”

Em aplicações anteriores dessa estratégia de ensino, alguns alunos pensaram que o iodo havia reagido com oxigênio. Devido a essas experiências, a pesquisadora já havia informado à professora que esse tipo de raciocínio era provável e que, para refutá-lo, seria necessário que os alunos tivessem bem claro o que seria a evidência experimental que provava que o processo era físico. Julgamos que tal discussão foi conduzida de forma exemplar pela professora. Assim, essa parte da aula foi importante para que os alunos tivessem mais claro o papel de evidências. Durante a discussão nos grupos, parecia claro para alguns alunos que o retorno ao estado sólido comprovava que o fenômeno era físico, mas o termo ‘evidência’ pareceu ter dificultado o entendimento do que era solicitado, o que levou a professora a insistir várias vezes na questão, como mostrado anteriormente⁵⁹. Após essa aula, a pesquisadora e a professora discutiram que a prova da existência de iodo talvez pudesse ficar ainda mais clara na Atividade 3.

De forma geral, os alunos sentiram dificuldades de justificar os fenômenos observados utilizando ideias no nível submicroscópico. Alguns alunos conseguiram fazer isto quando a professora solicitou explicitamente, mas não houve relacionamento com o tipo de ligação química, apenas raciocínio com o modelo de partículas (similar ao grupo 2), evidenciando que o conceito de ligação covalente e a constituição de iodo e grafite não eram claros para a turma.

ATIVIDADE 2

⁵⁸ Sabemos que nesse trecho aparecem argumentos, mas estes não foram classificados por serem argumentos de alunos que não eram dos grupos 2 e 4.

⁵⁹ Ideia que pode ser corroborada pelas entrevistas realizadas pela pesquisadora, no qual os estudantes disseram não compreender bem o que seria uma ‘evidência’ e, quando solicitados a fornecer uma ‘prova’ ou ‘confirmação’ à sua teoria, o faziam mais tranquilamente do que quando solicitados a fornecer uma ‘evidência’. Mesmo reconhecendo essa dificuldade dos estudantes, optamos pelo uso do termo ‘evidência’ por julgarmos que o termo ‘prova’ poderia contribuir para o pensamento de que os conhecimentos científicos são provados e, por isso, verdadeiros. Caso o professor opte pelo uso do termo ‘prova’ é importante que ele deixe claro aos estudantes que determinados dados experimentais fornecem provas de que determinado conhecimento é mais plausível em relação a outros possíveis (como discutido nos capítulos 2 e 4), como realizado nesse caso, pela professora, ao solicitar a evidência experimental que comprovava a existência do iodo molecular.

Introdução

A Atividade 2 foi realizada no dia 27/05/09 (2 horários). A professora explicitou claramente qual era o objetivo da mesma: “aprofundar e propor modelos para explicar porque a atração no grafite é tão mais forte do que a atração no iodo” (subetapa *definir objetivos para o modelo*). O fechamento desta atividade foi realizado juntamente com o da Atividade 3.

Grupo 2

Inicialmente, Iara apresentou dúvida sobre o que o modelo deveria enfatizar. A professora lhe respondeu que ele deveria mostrar “porque havia uma diferença tão acentuada nos valores das temperaturas de fusão dos sólidos levando em conta o tipo de ligação” (subetapa *ter experiências com o alvo*). Após discussão no grupo, eles apresentaram $MI.I.1$ (figura 5.12), construído com materiais concretos, para justificar a diferença de comportamento dos sólidos (etapas *elaborar e expressar um modelo em alguns dos modos de representação*).

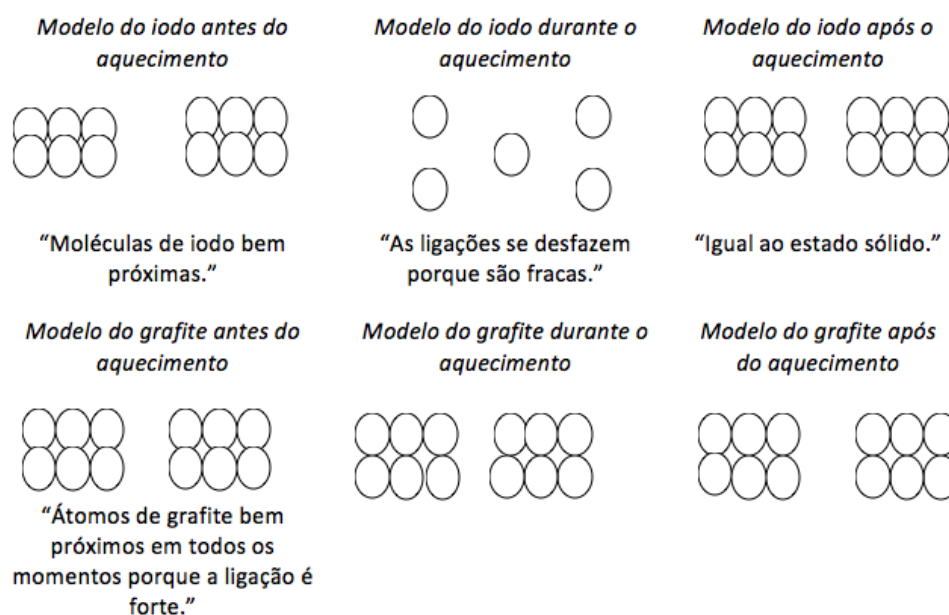


Figura 5.12. $MI.I.1G_2$.

Na expressão de $MI.I.1$, não foi apresentado um argumento novo para justificar as ideias, pois elas eram as mesmas expressas em A_{11} . Nesse momento, era esperada uma articulação explícita com as ligações químicas, pois o grupo tinha sido informado a respeito das ligações efetuadas pelos sólidos na Atividade 1 (como evidenciado anteriormente).

A professora discutiu com os alunos com o intuito de fazê-los pensar no tipo de ligação química e de apresentar essa informação no modelo:

Professora: “Que tipo de ligação ambos fazem?”

Igor: “Covalente?”

Professora: “E a ligação covalente é feita como?”

Igor: “Compartilhamento de elétrons.”

Professora: “Compartilhamento de elétrons, ok. Então eu quero ver no modelo de vocês isso. A força de atração é menor. Lembrem que o modelo tem que deixar isso claro.”

Até esse momento, todos os grupos da turma tinham proposto modelos que demonstravam rompimento de interação interatômica no iodo. A professora aproveitou para propor uma refutação a todos os modelos, isto é, solicitou que os alunos pensassem em como seria possível duas substâncias com o mesmo tipo de ligação ter forças que as unissem de diferente intensidade (como evidenciado no trecho anterior). Destacamos, portanto, o papel de antagonista assumido pela professora.

Em seguida, Igor chamou a pesquisadora para lhe apresentar uma dúvida acerca do $MI.I_1$:

Igor: “Aqui está o elétron compartilhado entre os átomos de iodo. Mas, se a ligação for quebrada, o que vai acontecer com esse elétron? Se fosse como na ligação iônica...”

Pesquisadora: “Um ia ficar carregado negativo e o outro positivo.”

Igor: “Então, no caso, qual que ganharia e qual perderia?”
{Refutação a $MI.I_1$.} {Justificativa teórica.}

Pesquisadora: “Não tem como saber, porque eles [átomos de iodo] são iguais. Então significa que você deve reformular esse modelo.” {Refutação a $MI.I_1$.}

Igor: [Olhou para lara e disse]: “É mesmo! E agora?”

Igor: “Porque quando quebrar essa ligação, esse elétron tem que ir para algum lugar.”

lara: “Então não é isso, Igor.”

Nesse trecho, percebemos que Igor ficou sem explicação para o que aconteceria quando a ligação I-I fosse rompida em termos de qual dos átomos de iodo iria atrair o elétron compartilhado, pois eles haviam relacionado tal rompimento com o de uma ligação iônica. Ele mesmo percebeu que essa ideia não fazia sentido pelo conhecimento de que eram os mesmos átomos envolvidos, o que fazia com que os átomos atraíssem os elétrons com a mesma intensidade. Apesar de lara dizer que a ideia dele não tinha sentido, ela não

conseguiu, naquele momento, pensar numa justificativa para o que iria acontecer caso a ligação fosse rompida. Podemos reconstruir um argumento de refutação à ideia de ligação iônica no iodo como:

A₁₂G₂: **A ligação quebrada no iodo não pode ser iônica** porque ela envolve átomos idênticos. (1.T-C)

A₁₀ é um argumento científico curricular de nível 1.T-C devido à justificativa teórica (a formação de íons é pouco provável). Tal ideia pode ter-se originado da estratégia de ligações iônicas, no qual esse aspecto foi discutido na Atividade 4 (subetapa *ter experiências com o alvo*). Nesse trecho, não apenas a pesquisadora agiu com antagonista, mas a colega de Igor, e o próprio Igor ao reavaliar a sua ideia, também agiram assim. É válido destacar que, nas Atividades 1 e 2, a professora já tinha retomado o conceito de ligação covalente. Entretanto, parece que eles preferiram raciocinar inicialmente a partir do conceito de ligação iônica, supostamente por terem maior clareza sobre o mesmo.

O grupo seguiu com M.I.1., mas com a hipótese de ligação iônica descartada. Eles decidiram pensar melhor sobre como deveria ser a quebra da ligação I-I. Em seguida, Igor disse à pesquisadora que eles tinham chegado a uma conclusão: “A ligação deles vai quebrar e eles vão ficar ambos com sete [elétrons]”, isto é, ele produziu um argumento do tipo 1.T-C:

A₁₃G₂: **A ligação quebrada no iodo é covalente** porque cada átomo fica com sete elétrons. (1.T-C)

Assim, o grupo seguiu com M.I.1., mas parecendo ter mais clareza de que a ligação era covalente.

Mais adiante, eles apresentaram uma visão inadequada sobre a evidência experimental e a ligação covalente:

- Igor: “Acho que com o aquecimento essa ligação aqui [que une dois átomos de iodo] vai ser quebrada porque depois que ele é resfriado ele volta a ser sólido.”
- Pesquisadora: “Mas como isso explica a fusão?”
- Iara e Igor: “Porque a força de atração é mais forte em um do que no outro.” {Justificativa teórica para M.I.1.}
- Igor: “Eu acho que tem a ver com o número de elétrons repartidos.” {Justificativa teórica para M.I.1.}

[Os alunos mostraram para a pesquisadora com materiais concretos (duas bolinhas de isopor ligadas por quatro palitos) o carbono realizando ligação quádrupla com outro carbono.]

Pesquisadora: “Mas isso não está certo.”

Igor: “Não?”

Pesquisadora: “Ele não compartilha quatro [elétrons] de uma vez. O carbono ele é o C e ele tem quatro elétrons de valência. Ele vai poder fazer quatro ligações simples separadas ou duas duplas ou uma dupla e duas simples, desde que forme quatro. Mas ele não compartilha quatro elétrons com um único átomo.” {Refutação a $MI.I.1$.}

Inicialmente, Igor apresentou uma interpretação errada do experimento com base no modelo: pensar que a substância voltaria ao estado sólido mesmo após quebrar a ligação covalente. Isto pode sugerir duas hipóteses: uma reinterpretação do dado a favor de seu modelo, ou o não entendimento das mudanças ocorridas com a substância. A pesquisadora utilizou essa ideia mais adiante na tentativa de refutar $MI.I.1$. Nesse trecho, o grupo apresentou um argumento de defesa ao $MI.I.1$ de nível 1.T-C:

$A_{14}G_2$: **$MI.I.1$ explica a diferença dos sólidos quanto ao aquecimento porque a ligação do iodo é mais fraca por compartilhar apenas um elétron. A ligação do carbono é mais forte por compartilhar quatro elétrons.** (1.T-C)

Classificamos A_{14} como 1.T-C porque foi utilizado um conhecimento acerca da ligação covalente (número de elétrons compartilhados) para justificar a diferença de comportamento dos sólidos (raciocínio frequente entre estudantes, como evidenciado pela literatura (Furió & Catalayud, 1996; Peterson & Treagust, 1989)). Esse tipo de raciocínio é incoerente quanto se pensa no modelo científico que explica a diferença de magnitude das ligações covalentes e forças intermoleculares, mas foi classificado como coerente na defesa de $MI.I.1$, de acordo com o processo vivenciado pelo grupo. No final do trecho, percebemos uma tentativa de refutação da pesquisadora (papel de antagonista) com relação a $MI.I.1$, que também foi uma advertência ao grupo quanto ao conhecimento inadequado de ligações covalentes.

A discussão com a pesquisadora a respeito da coerência de $MI.I.1$ continuou:

Igor: (Mostrou [utilizando materiais concretos] para a pesquisadora que durante o aquecimento as partículas de iodo se separam e cada átomo passa a ter sete elétrons.)

Pesquisadora: “O que existe na natureza é a substância I_2 , não há átomo de I isolado.”

{Refutação a $MI.I.1.$ }

Pesquisadora: “Você está propondo algo instável.”

(Alunos pensativos)

Pesquisadora: “Quando há mudança de estado físico muda-se a substância?” {Refutação a $MI.I.1.$ }

Igor: “Não”.

Pesquisadora: “Mas você está me mostrando uma substância no início e outra no final. Aqui [$MI.I.1.$] você não está tendo a mesma substância, mas os átomos que formam aquela substância, que são instáveis. Com sete elétrons não há estabilidade. Seria estável com oito.” {Refutação a $MI.I.1.$ }

G_2 : [concordam]

Pesquisadora: “Outra coisa que vocês têm que pensar é a ideia de molécula.” {Refutação a $MI.I.1.$ }

Pesquisadora: “A molécula é a menor unidade formadora da substância e aqui você está violando a ideia de molécula.”

Igor: “Então eu tenho várias moléculas de iodo no estado sólido e as ligações delas não são tão fortes quanto as do grafite. Quando eu forneço energia, elas vão se romper, entrar no processo de fusão. Nesse caso, as moléculas já não vão estar tão próximas, tão fortes como era antes. Elas vão ficar mais afastadas. {etapas *elaborar* e *expressar* $MI.I.2.$ }

Nesse trecho, a pesquisadora (no papel de antagonista) tentou refutar $MI.I.1.$, inicialmente informando que átomos de iodo separados não são estáveis e que esse pensamento era incoerente porque eles tinham percebido, experimentalmente, que iodo retornava ao estado sólido quando o sistema resfriava; e posteriormente retomando a ideia de molécula como menor unidade formadora da substância iodo. Igor apresentou $MI.I.2.$ verbalmente. Consideramos $MI.I.2.$ híbrido porque apresentava características do modelo de rompimento de interações intermoleculares (“as moléculas já não vão estar tão próximas, tão fortes como era antes; elas vão ficar mais afastadas”) e interações interatômicas (“quando eu forneço energia, elas vão se romper, entrar no processo de fusão”).

Em seguida, Igor apresentou $MI.I.3.$ supostamente porque percebeu, a partir dos materiais concretos manipulados pela pesquisadora, a confusão das ideias expressas em $MI.I.2.$:

Pesquisadora: “Então me empresta as suas bolinhas de novo. A sua ideia agora está me levando a pensar nisso aqui: [faz várias moléculas de I_2 com bolinhas de isopor e palitinhos]. Então, quando vai romper devido ao aquecimento, rompe a ligação entre os átomos (o palitinho) ou afasta as moléculas?”

Igor: “Agora eu vi que estava confundindo molécula com átomo. É bem diferente.”

Pesquisadora: “Uma coisa é a molécula de iodo, formada por dois átomos de iodo e outra

coisa são os átomos”.

Igor: [Pegou os modelos que representavam as moléculas e mostrou uma separação cada vez maior entre elas quando se passava do sólido para líquido e para gás]. “É isso?” {etapas *elaborar* e *expressar MI.I.3.*}

Pesquisadora: “É.”

Esse trecho demonstra a importância dos materiais concretos para facilitar a comunicação e o entendimento. As sucessivas refutações da pesquisadora – formação de molécula de I_2 , átomos de I isolados são instáveis e forma-se iodo sólido quando se resfria – parecem ter favorecido a construção de $MI.I.3$, que foi expresso em desenho e com materiais concretos (figura 5.13) (etapas *elaborar* e *expressar um modelo em alguns dos modos de representação*).

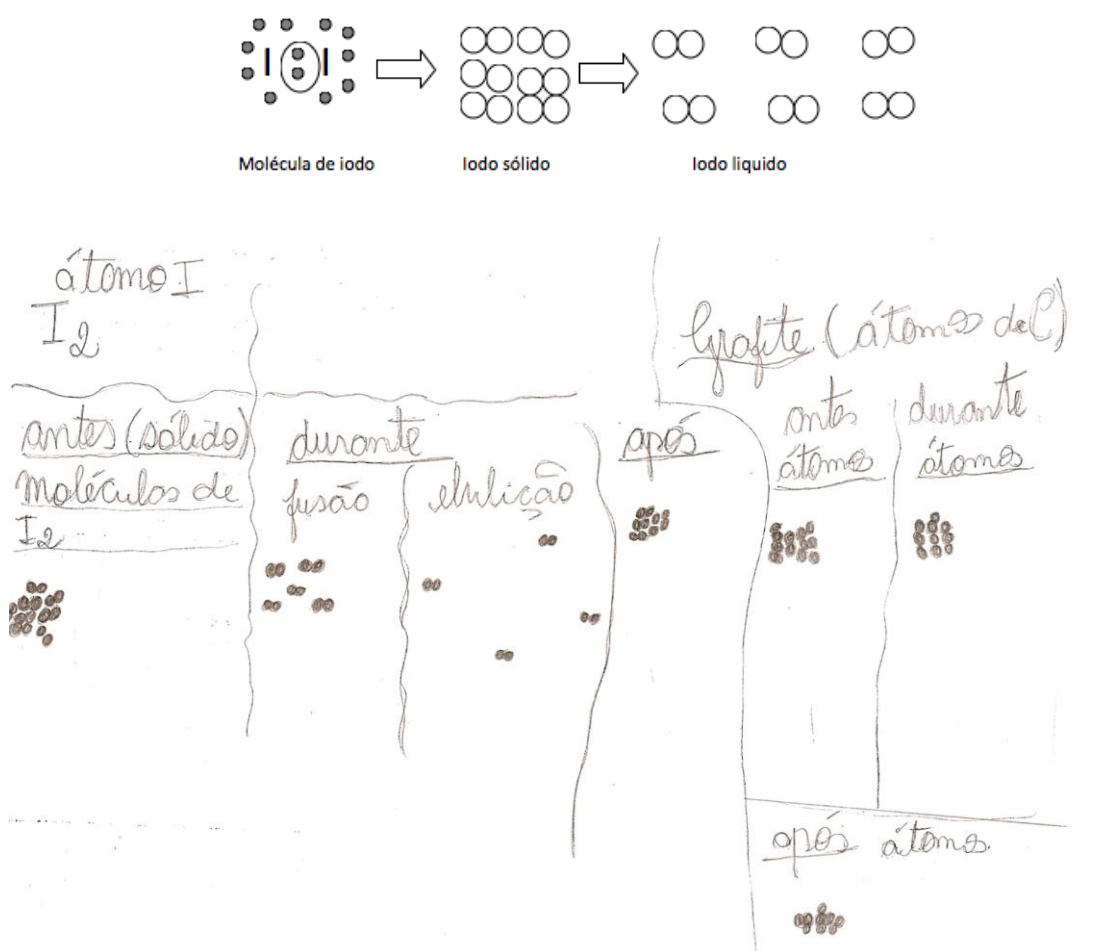


Figura 5.13. $MI.I.3G_2$.

A discussão a seguir evidencia que ainda havia dúvidas quanto a $MI.I.3$ e como ele era capaz de explicar o dado experimental:

- Igor: “E no caso do grafite?”
- Pesquisadora: “Que não acontece nada...”
- Igor: [Mostrou a mesma estrutura para antes, durante e após o aquecimento.]
- Pesquisadora: “Pensando nisso: será que o carbono forma molécula?”
- Igor: “O carbono não.”
- Pesquisadora: “Então é por não formar moléculas que o grafite funde a elevada temperatura. Então ele é formado de átomo?”
- G₂: (Concorda)
- Igor: “Então a ligação das moléculas é mais fraca?”
- Pesquisadora: “Não, a ligação da molécula, entre os átomos, é forte. É frágil o que as liga.”
- Igor: “Então no iodo é mais fácil [referiu-se a fusão] porque sua formação química é mais frágil do que a do grafite.”
- Pesquisadora: “A formação dele é por moléculas. No caso do grafite não há formação de molécula.”
- Igor: “É átomo?”
- Pesquisadora: “Sim.”
- Igor: “Então a molécula é formada por um monte de átomos?”
- Pesquisadora: “Sim, a molécula é formada por certos átomos.”
- Igor: “Então as moléculas são mais frágeis que os átomos?”
- Pesquisadora: “As moléculas são estáveis, tem ligação forte, o que é mais frágil é aquilo que liga uma na outra.”
- Pesquisadora: “Lembra do NaCl?”
- Igor: “Sim.”
- Pesquisadora: “Ele era iônico. Ele não formava moléculas. Existem substâncias que não são formadas por moléculas. NaCl e grafite são exemplos. Por outro lado, têm substâncias que são formadas por moléculas, como a água e o iodo.”
- Igor: “Então no caso, o grafite precisa de mais energia para separar os átomos.”
{Justificativa para M1.I.3.}
- Pesquisadora: “Sim.”
- Igor: “Então é por isso que gasta energia superior, mesmo sendo ligação covalente?” {Justificativa para M1.I.3.}
- Pesquisadora: “Sim.”

Havia parecido que o conceito de molécula tinha ficado claro para Igor no decorrer da discussão da Atividade 2. No final dessa discussão com a pesquisadora, ele explicou tudo novamente para a Iara e a Raquel que ainda se mostravam bastante confusas quanto à ideia de rompimento de interações interatômicas e intermoleculares. Ele utilizou os materiais concretos para facilitar a explicação. Ao final da Atividade 2, o grupo afirmou com convicção como M1.I.3 explicava as evidências (resultado da subetapa *conduzir experimentos mentais*), o que foi reconstruído no seguinte argumento:

A₁₅G₂: **MI.I.3 explica as evidências porque a fusão do grafite requer mais energia (porque grafite não é molecular) e a fusão do iodo requer menos energia (porque iodo é molecular).** (3.T-E-C)

A₁₅ foi classificado como nível 3.T-E-C por demonstrar articulação das evidências com o conhecimento teórico sobre substância molecular e não molecular.

As discussões no grupo 2 sugerem que os dados primários fornecidos pela Atividade 1 foram importantes para a construção e o teste dos modelos, pois ao mesmo tempo que o modelo tinha que explicar as evidências (justificar porque as temperaturas de fusão eram tão distintas), elas serviam para testá-lo (incompatibilidade de evidenciar quebra de ligação do iodo porque ele retornava ao estado sólido). Elas sugerem também que o grupo 2 soube lidar com o dado anômalo a MI.I.1 (iodo retorna ao estado sólido) na reformulação do mesmo, conduzindo a MI.I.3, mas que não foi apenas esse fator isolado que conduziu a isso. É importante destacar o papel da pesquisadora/professora com questões, dicas e retomada ou colocação de conhecimentos com o intuito de refutar ideias incoerentes e de conduzir a discussão em direção ao modelo curricular.

Ao acompanhar essa atividade, percebemos grande engajamento do grupo na modelagem, o que nos conduz a afirmar que o mesmo se envolveu no desenvolvimento da ciência escolar ('doing science').

Grupo 4

Inicialmente, percebemos que as alunas estavam sem saber o que era para ser feito na Atividade 2. Algumas delas (Paola e Daniela) estavam dispersas. A professora se aproximou do grupo e explicou novamente o que era para ser feito: "Vocês sabem que o iodo tem temperatura de fusão bem menor em comparação a do grafite, não sabem? (subetapa *ter experiências com o alvo*). Vocês já provaram isso na atividade anterior. Então vocês vão ter que montar um modelo que mostra como estão organizadas as partículas do grafite e as partículas do iodo. E a partir disso, vocês vão mostrar o que o aquecimento faz com essas partículas. Se vai separar." (subetapa *definir objetivos para o modelo*). Após essa solicitação, Sara apresentou a primeira ideia sobre o que pensava que ia acontecer com o iodo:

Sara: "Iodo separa, mas volta novamente." [Apresentou um modelo concreto que demonstrava separação dos átomos de iodo ao ser aquecido e que as ligações eram reconstituídas quando a substância se resfriava, mas não

mostrava que a substância era I_2 quanto ao número de átomos e quanto às cores usadas na representação.] {etapas *elaborar* e *expressar* $MI.I_1$.}

Pesquisadora: “O iodo é I_2 , então você tem que demonstrar assim [referiu-se a dois átomos de I ligados], ok?” {Refutação a $MI.I_1$.}

Pesquisadora: “Porque se você representa com duas cores diferentes, fica parecendo que são dois átomos diferentes. Então vocês vão ter que mudar as representações. Porque o iodo é I_2 , então são dois átomos de iodo ligados, então seria só uma cor, concorda? E o carbono é C, então você usa uma cor diferente para o átomo de carbono do que você usaria para o átomo de iodo. Entendeu?”

Sara: “E o grafite é qual?”

Pesquisadora: “O grafite é carbono.”

Nesse trecho, percebe-se que as alunas não tinham clareza sobre as fórmulas químicas do iodo e do grafite, nem sobre suas representações.

A seguir, as alunas criaram uma analogia para a fórmula do grafite a partir da fórmula do iodo:

Pesquisadora: “Isso aí é I_2 ? I ligado com I.” [Averiguou se o modelo concreto $MI.I_1'$ mostrava a substância I_2 .]

Pesquisadora: “No início? Aí no líquido vai separar?” [Interpretação de $MI.I_1'$: separação da ligação I-I com o aquecimento da substância.]

Pesquisadora: “Agora faz para o carbono.”

Pesquisadora: “Você está representando como C_2 ?” {etapas *elaborar* e *expressar* $MI.I_1'$.}

G₄: (concordam)

Pesquisadora: “O grafite não tem fórmula definida como o iodo.” {Refutação a $MI.I_1'$.}

Consideramos que houve uma modificação periférica em $MI.I_1$, acarretando em $MI.I_1'$, por mostrar a mesma ideia de rompimento de interação intermolecular, mas demonstrar a fórmula química do iodo. Consideramos que o modelo que representava o grafite tinha a mesma lógica da ideia usada para o iodo, por isso foi denominado de $MI.I_1'$, o que nos conduziu à reconstrução de um argumento analógico:

A₆G₄: Se iodo (domínio análogo) é ~~representado por I_2~~ , **grafite** (domínio alvo) é **representado por C_2** . (1.R-A)

Premissa de similaridade: Grafite é representado como iodo.

Premissa base: Iodo é I_2 .

Conclusão: Logo, grafite é C_2 .

A₆ foi classificado como 1.R-A porque o conhecimento do domínio análogo utilizado é meramente representacional, visto que o grupo não demonstrou conhecimento sobre as ligações efetuadas por cada substância. Parece que como elas não tinham ideia sobre o tipo de ligação, recorreram a uma analogia somente para a fórmula. A pesquisadora buscou refutar a ideia de ‘molécula de C₂’ expressa em *MI.I.1’*. Nesse trecho foi evidenciado novamente que as alunas não tinham clareza sobre a ideia de molécula.

A seguir, aconteceu uma discussão que contribuiu para as alunas compreenderem que o grafite não é molecular:

- Professora: “Então o grafite é formado por um átomo de carbono?” {*MI.I.2.*}
- Cristiane: “Então é só um átomo?”
- Professora: “Não, eu estou perguntando.”
- Cristiane: “Eu também quero saber.” [Insatisfeita com a professora por não responder suas questões.]
- Paola/Sara: “São duas.” [Retomaram *MI.I.1’*.]
- Professora: “São duas?”
- Cristiane: “Não sei.”
- Professora: “Vamos supor que são duas.” Então quer dizer o quê na fusão?” {Refutação a *MI.I.1’*.}
- Sara: “O grafite não vai separar.”
- Professora: “E, por que não?”
- Professora: “Como a temperatura de fusão está justificada nesse modelo?”
- Cristiane: “Porque elas estão bem ligadas, estão bem...”
[Falas confusas]
- Cristiane: “Não, são vários [átomos ligados], por que eles não se separaram.”
[Mostraram várias bolinhas de isopor representando vários átomos de carbono ligados.] {etapas *expressar* e *elaborar* *MI.I.3*}
- Professora: “Então o que cada bolinha representa?”
- Cristiane: “O átomo.”
- Professora: “Então nós evoluímos para dizer que no grafite vários átomos de carbono estão interligados.”

Como a pesquisadora tinha refutado a ideia de C₂ expressa em *MI.I.1’*, Cristiane apresentou à professora um modelo para o grafite como um átomo de carbono (*MI.I.2*), o que era um modelo coerente quando pensamos que a fórmula da substância é expressa como C(grafite) e que, naquele momento, a aluna não tinha clareza sobre o que seria uma substância molecular e não molecular e não havia estabelecido correlações com as evidências experimentais. Como a aluna não conseguiu argumentar com esse modelo, suas colegas

retomaram *MI.I.1'*. A professora buscou refutar esse modelo ao questionar sobre como ele explicaria a temperatura de fusão do grafite utilizando um raciocínio analógico:

Premissa de similaridade: Iodo deve ter comportamento similar ao de grafite.

Premissa base: Iodo é I_2 e grafite é C_2 .

Conclusão (esperada do grupo): Se iodo funde em baixa temperatura, grafite deveria fundir em baixa temperatura, pois tem a mesma representação.

Nesse momento, Sara apresentou um raciocínio analógico incoerente (pois se iodo é representado como grafite, logo o comportamento do grafite deveria ser similar, isto é, também deveria fundir), porque ela respondeu que as ligações não deveriam se separar. Ela deve ter respondido dessa forma por ter observado (quando aqueceu o sólido na Atividade 1) que a temperatura de fusão deveria ser elevada. Isso pareceu ter favorecido Cristiane a pensar na ideia de vários átomos de carbono ligados para explicar o dado (*MI.I.3*). Portanto, as evidências primárias da Atividade 1 pareceram ter favorecido o entendimento da representação e da fórmula química do grafite e do iodo – algo que julgávamos ser conhecimento prévio (subetapa *ter experiências com o alvo*). É também importante destacar o papel da professora e da pesquisadora como antagonistas nas discussões, buscando refutar ideias incoerentes, bem como de protagonistas, a partir da inserção de ideias visando favorecer a reconstrução de pensamentos.

A seguir, a professora buscou saber das alunas como explicar os dados experimentais após a conclusão sobre as fórmulas químicas:

Professora: “E durante o aquecimento? Não modifica nada, por quê?” [Referiu-se a *MI.I.3*.] (figura 5.14)

Paola: “Porque precisa de uma energia maior para romper a atração.” {Justificativa empírica para *MI.I.3*.}

Professora: “Que diferença tem esse modelo [iodo] desse modelo [grafite]?”

Paola: “Em um caso vai ter mais ligação.” {Justificativa empírica para *MI.I.3*.}

Professora: “A atração [entre os átomos] é a mesma?”

Sara: “Vai ser diferente.”

Professora: “Diferente, mas vai ser maior ou menor?”

G₄: “Menor.” [Referiram-se à interação entre os átomos de iodo.] {Justificativa empírica para *MI.I.3*.}

Professora: “Então quando ele passar de sólido para líquido, não só os grupos vão afastar [as moléculas de iodo] como o próprio grupo vai se desfazer [as ligações I-I são quebradas]. É nisso que vocês acreditam?” {*MI.I.3*.}

G₄: (concordam)

Nesse trecho, apareceu o primeiro argumento favorável a $MI.I._3$, que foi expresso com materiais concretos (figura 5.14) (etapas *elaborar* e *expressar um modelo em alguns dos modos de representação*). Consideramos que $MI.I._3$ não foi apenas expresso com os materiais concretos, mas reelaborado por enfatizar a quebra de ligação intermolecular no iodo e que isso não ocorre no grafite, o que não havia sido expresso anteriormente quando Cristiane apresentou a ideia de várias ligações no grafite ao refutar $MI.I._1'$.

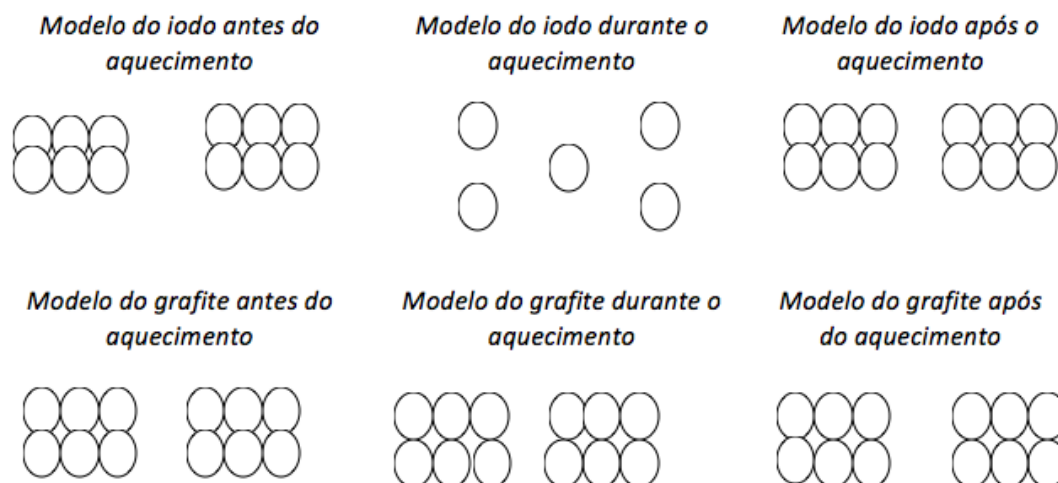


Figura 5.14. $MI.I._3G_4$.

A_7G_4 : **No grafite não há quebra das ligações porque há várias ligações fortes, que requerem muita energia para serem rompidas.** (1.E-C)

Classificamos A_7 como 1.E-C porque as conclusões e justificativas das alunas foram baseadas nas evidências experimentais (obtidas na subetapa *ter experiências com o alvo*), pois até aquele momento, o tipo de ligação não havia sido destacado pelo grupo.

Logo após, a professora buscou refutar $MI.I._3$:

Professora: “Que tipo de ligação que temos aqui nos dois casos?”

G_4 : “Covalente?”

Professora: “Covalente! Como é que acontece mesmo a ligação covalente?”

Paola: “Um positivo e um negativo.”

Professora: (Negou com a cabeça.)

G_4 : (Alunas demonstraram estar pensando na resposta.)

Professora: “Compartilhamento de elétrons. Então o tipo de ligação que ocorre aqui [iodo] é o mesmo tipo de ligação que ocorre aqui [grafite].”

Paola: “É, só que aqui [iodo] é menor.” [Parece ter-se referido ao fato de ter menor

número de ligações ou de elas serem mais fracas.] {*MI.I.3.*}

Professora: “Mas a ligação é a mesma.” {Refutação a *MI.I.3.*}

G₄: “É, é a mesma.”

Professora: “Então minha pergunta para vocês pensarem: por que aqui [iodo] separa e aqui [grafite] não separa?”

Cristiane: “Porque a atração [grafite] é maior, não?” {*MI.I.3.*}

Professora: “Mas por que a atração é maior se o tipo de ligação é a mesma?” {Refutação a *MI.I.3.*}

[Falas confusas]

Professora: “Pensa sobre isso, ok?”

Assim como o grupo 2, as alunas responderam que a ligação presente no iodo era iônica, pois o conceito de ligação covalente parecia não ser claro. A professora, no papel de antagonista, buscou refutar *MI.I.3* ao pedir que as alunas pensassem em como seria possível a ligação covalente se romper no iodo e não se romper no grafite. Elas tentaram defender *MI.I.3* e a professora insistiu na refutação, solicitando que elas refletissem sobre o tipo de ligação química de ambos os sólidos.

Na sequência, as alunas chamaram a pesquisadora para que ela explicasse novamente o que a professora tinha pedido para elas refletirem e, a partir disso, foi explicitado o modelo em rede (*MI.I.3'*):

Pesquisadora: “Ela perguntou sobre o fato de os dois terem ligações covalentes e por que um é difícil de separar e outro é fácil.”

Cristiane: “Tem haver com rede?” {Elaborar e expressar *MI.I.3'*.}

Pesquisadora: “O fato dele [grafite] não formar molécula, formar uma rede, é importante para explicar porque a temperatura de fusão dele é mais de 3000 °C. E esse daqui [iodo] como não forma rede é mais fácil de fundir e a temperatura de fusão dele é 114 °C. Então deve estar relacionado a alguma coisa de rede.”

Por suposição, pensamos que o modelo de rede (*MI.I.3'*) apresentado por Cristiane possa ter sido influenciado pela Atividade 6 de modelagem para ligações iônicas, pois esse aspecto foi bastante defendido por ela para explicar a elevada temperatura de fusão do NaCl (subetapa *selecionar origem para o modelo*). Consideramos que *MI.I.3'* tenha modificações apenas periféricas em relação a *MI.I.3* porque em *MI.I.3'* fica clara a importância da rede para explicar a elevada temperatura de fusão, o que não é tão evidente em *MI.I.3*. A explicitação do modelo de rede permite-nos supor que o grupo estava começando a compreender melhor a distinção entre iodo e grafite.

Mais a frente, há uma passagem em que Sara refletiu sobre a evidência experimental e sua justificativa:

Sara: “E agora? Como eu vou justificar?”

Sara: “As partículas se separam [MI.I.₃’, figura 5.14], mas continuam no mesmo estado físico [iodo ao ser aquecido e resfriado]?”

A partir dessas falas tivemos indícios de que Sara refletiu sobre o dado anômalo (só há mudança de estado físico) em relação a seu modelo (rompimento de ligações da molécula). Essa evidência foi muito importante para a reflexão sobre MI.I.₃’, pois logo após Sara apresentou à professora MI.I.₄ (figura 5.15) (subetapas *rejeitar* e *modificar o modelo* e etapas *elaborar* e *expressar um modelo em alguns dos modos de representação*):

Sara: “Olha o que eu escrevi aqui professora!” [entusiasmada]

Professora: [Leu a resposta]: “Iodo: a energia fornecida {Justificativa empírica 1 para MI.I.₄.} serviu apenas para afastar as moléculas, mas não para romper suas ligações.” {Justificativa teórica para MI.I.₂.}

Professora: “O que seria uma molécula aqui [apontou para o desenho, figura 5.15]?”

Professora: “Isso! A molécula aqui seria constituída por dois átomos de iodo. Ótimo! E como seria o iodo como um todo, pensando em moléculas?”

Sara: “Eles juntos?”

Professora: “Juntos? Juntos, juntos, ligados, como é que é?”

Sara: [Reclamou que estava difícil.]

Professora: “Ótimo, ele é formado por moléculas, têm varias moléculas, como é que essas moléculas estão?”

Sara: “Assim?” (ver figura 5.15)

Professora: “Ok, próximas e organizadas. Quando eu aqueço, o que eu faço com esse material? Elas se afastam...”

Cristiane: “Não a ligação.” {Justificativa teórica para MI.I.₄.}

Sara: [Inaudível]

Professora: “Qual é a evidência que a gente tem de que a ligação não se rompe?”

Cristiane: “Que no final ela [a substância] volta a ser sólida.” {Justificativa empírica 2 para MI.I.₄.}

Professora: “Tem isso também, agora a gente pode pensar numa outra coisa. A ligação que ocorre aqui é covalente, não é?”

Cristiane: “É.”

Professora: “No grafite também é. Por isso a força que as une tem que ser de mesma magnitude. Então eu não posso pensar que é possível quebrar uma ligação num momento e a outra não.”

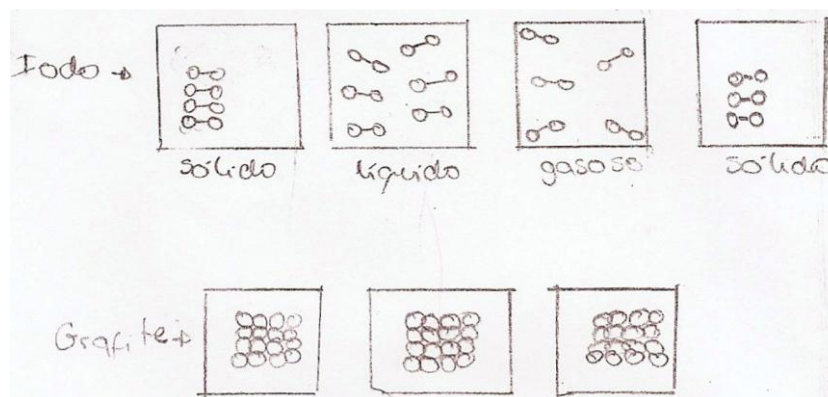


Figura 5.15. *M.I.I₄G₄*.

A partir desses diálogos, tornou-se possível reconstruir um argumento de nível 3-T-E-C devido a inter-relação dos conhecimentos teóricos e empíricos para justificar a diferença de comportamento dos sólidos (ocorrida na subetapa conduzir experimentos mentais):

A₈G₄: A energia fornecida para o iodo serviu apenas para afastar as moléculas, mas não para romper suas ligações [1], pois ele retornou ao estado sólido quando aquecido [2]. No grafite não há rompimento da ligação, pois não ocorreu transformação em seu aquecimento [1] porque ele é formado por uma rede [2]. (3.T-E-C)

Considerações Finais

No final da aula, todos os grupos tinham reformulado os modelos que demonstravam rompimento de interações interatômicas para evidenciar rompimento de interação intermolecular no iodo quando aquecido. As solicitações para os estudantes compararem a magnitude da força da ligação covalente no iodo e no grafite e para explorarem as evidências (que foram discutidas pela professora e pela pesquisadora anteriormente à aplicação da atividade) parecem ter sido essenciais para a reformulação do modelo.

ATIVIDADE 3

Introdução

A Atividade 3 foi aplicada nos dias 27/05/09 e 29/05/09. Inicialmente, a professora fez uma breve recapitulação da atividade anterior. Nela, a professora explicitou que os grupos tinham concluído que o grafite era formado por uma rede de átomos de carbono e enfatizou que ele tinha comportamento distinto do iodo justamente por isso, isto é, por não ser molecular. Em seguida, ressaltou que os modelos seriam testados para comprovar se o iodo

era um sólido molecular (subetapa *planejar e conduzir testes empíricos*). Ela deixou claro o que deveria ser feito na atividade experimental quanto à verificação da presença de iodo molecular devido à reação dele com amido, o que seria evidenciado por uma substância de cor azul.

Grupo 2

Os alunos do grupo 2 fizeram uma previsão distinta do experimento, mas que não se relacionava com o não entendimento da presença de iodo molecular quando aquecido, pois desde o início Igor havia afirmado para a pesquisadora que “não iria romper a ligação I-I quando o iodo fosse aquecido”. Segundo a previsão deles, “o iodo no seu estado gasoso, ao entrar em contato com o amido, adquirirá uma cor preta devido à reação”. Ao realizar o experimento, eles perceberam que a cor preta devido à reação era visualizada no cotonete, como observado nas amostras de pão e batata testadas anteriormente. Após o experimento, eles responderam que: “O amido presente no cotonete reagiu ao iodo no seu estado gasoso e adquiriu assim uma cor preta.” As respostas dos estudantes evidenciam que eles tinham concepções inadequadas sobre reação química, pois pensavam que era uma substância que modificava a cor e não o produto da reação que tinha uma cor característica. Além disso, eles utilizavam o verbo ‘reagir’ de forma inadequada nas sentenças.

Mais a frente, eles afirmaram de forma bastante convincente que: “O nosso modelo explica as observações experimentais, porque são moléculas de I_2 que se separam, não os átomos, pois senão o gás não reagiria ao amido.” (subetapa *conduzir experimentos mentais*). O grupo expressou um argumento de nível 4 em defesa do MI.I.₃:

A₁₆G₂: “**MI.I.₃ explica as observações experimentais, porque são moléculas de I_2 que se separam, não os átomos [1], pois senão o gás não reagiria com o amido [2].**”
(4.T-E-C-R)

A₁₆ foi classificado como nível 4.T-E-C-R por mostrar claramente a relação entre o conhecimento teórico relativo ao reconhecimento do iodo molecular e de sua reação com o amido acontecer apenas nessa condição e pela ênfase dada pelo grupo ao poder explicativo do modelo. Esse argumento evidenciou bom entendimento do grupo quanto ao teste do modelo e uso do dado primário obtido no experimento.

Grupo 4

Inicialmente, devemos destacar que as alunas gastaram cerca de 15 minutos com aspectos da experiência que não eram relevantes ao objetivo da mesma, por exemplo, discutindo qual a melhor denominação de cor para o produto da reação do amido com os diferentes alimentos. Também foi possível constatar que elas não realizaram o experimento já pensando nas relações das evidências com o modelo, segundo as recomendações da professora. Julgamos que elas se dedicaram à realização da parte procedimental ('doing the lesson') e que durante a realização do experimento não estavam concentradas na modelagem ('doing science'), como o grupo 2 estava. Dessa forma, só restaram cerca de 10 minutos para as alunas discutirem os resultados relativos ao modelo do grupo e isso não ocorreu de forma efetiva. Considerando o modo de trabalhar dessas alunas nesta aula e nas anteriores, percebemos que elas precisavam muito do apoio da professora e/ou da pesquisadora para auxiliá-las a refletir sobre as evidências e organizar melhor o pensamento, o que não ocorreu de forma frequente durante essa atividade. Não apresentamos trechos da discussão das alunas durante a realização dessa atividade por julgarmos não haver contribuição para a análise.

Considerações Finais

O fechamento das Atividades 2 e 3 foi realizado pela pesquisadora porque a professora estava completamente afônica no dia. Julgamos que isto não significou nenhum problema para os alunos que, por já estarem acostumados com a pesquisadora, participaram da discussão e se comportaram da mesma maneira que nas discussões anteriores conduzidas pela professora. A pesquisadora recapitulou as evidências experimentais com o auxílio dos estudantes e solicitou explicações:

Pesquisadora: "O que aconteceu no experimento do grafite? Houve alguma mudança?"

Alunos: "Não."

Pesquisadora: "Então vamos pensar no iodo. O que aconteceu com ele?"

Alunos: "Mudou de estado físico."

Pesquisadora: "Nós pedimos para vocês explicarem por que dois sólidos tinham o comportamento tão diferente, porque um mudou de estado físico e o outro não. Alguém poderia explicar o comportamento do grafite?"

Igor: "O grafite é uma rede de átomos formada por ligações covalentes."

Pesquisadora: [Recapitulou as principais características da ligação covalente.]

Pesquisadora: "Para todos é claro que o grafite está organizado em forma de rede? Então me digam, qual é a menor unidade que faz parte da rede do grafite?"

(Silêncio)

Aluno: “É átomo.”

Pesquisadora: “Ok. A temperatura de fusão do grafite é maior que 3000 °C. Então aquela chama da lamparina é incapaz de produzir qualquer modificação no grafite. A temperatura de fusão é extremamente alta, por isso o grafite é uma substância muito estável, ok? O que significa a temperatura de ebulição ser extremamente alta?”

Igor: “Que as ligações entre os átomos são fortes.”

Esse trecho evidencia como Igor defendeu o modelo do grupo 2 expressando um argumento similar a A₁₅.

A seguir, continuaram os diálogos referentes ao iodo:

Pesquisadora: “Agora vamos passar para o iodo. Como que é a fórmula química do iodo?”

Aluno: “I₂.”

Pesquisadora: “É a fórmula química da substância iodo ou do átomo de iodo?”
(Alunos ficam na dúvida, mas respondem átomo).

Pesquisadora: “Se alguém abrir uma tabela periódica vai encontrar lá na coluna 7A vários elementos. Um deles vai ser o iodo que tem como símbolo I, ok? Portanto, quando eu escrevo I, eu estou representando o símbolo do elemento químico iodo que é formado por átomos de iodo. A molécula de iodo é formada por átomos de iodo. Só que a molécula de iodo é formada pela associação de dois átomos de iodo, que dá I₂. A substância iodo é formada por várias moléculas de I₂.”

Pesquisadora: “Qual é a ligação que une os átomos de iodo?”

Alunos: “Covalente.”

Pesquisadora: “A ligação entre os átomos de iodo é forte?”

Carlos (G₃): “Não.”

Pesquisadora: “Por que não Carlos?”

Carlos: “Porque ele funde.”

Pesquisadora: “Então, você [Igor] acha que sim? Ele [Hebert] acha que sim. Ele [Carlos] acha que não é forte.”

Pesquisadora: “Você acha que sim [Igor] e ele [Hebert] também acha que sim. Qual o seu argumento para por que sim?”

Igor/Hebert (G₁): “A ligação entre as moléculas é forte, o que as une que é mais fraco.”

Sara: “Concordo.”

Pesquisadora: “Então a gente pode dizer que, presta atenção Carlos, que a ligação covalente é forte! O que é fraco então? O que faz elas separarem?”
(Gestos dos alunos mostrando a separação das moléculas)

Pesquisadora: “A ligação entre as moléculas é fraca, por isso ocorre a mudança de fase, mas a ligação covalente é forte.”

Nesse trecho, houve a defesa do modelo que demonstra interação intermolecular pelos alunos Igor, Hebert e Sara, evidenciando que eles tinham claro que as ligações covalentes eram fortes. Igor expressou um argumento similar a A₁₅. Por outro lado, Carlos demonstrou dúvidas quanto a isso, evidenciando que o grupo dele não tinha certeza sobre o modelo reformulado, pois apresentou como o argumento para o modelo interatômico o fato de iodo sofrer fusão. Isso demonstrou que a socialização foi importante para que pontos de vista opostos fossem colocados e devidamente discutidos para maior clareza do modelo. É importante destacar que a pesquisadora conduziu a discussão de forma a permitir que argumentos favoráveis e contrários a cada ponto de vista fossem expostos. Nesse caso, os colegas agiram como antagonistas ao modelo incoerente e não apenas a professora/pesquisadora, como era usual nas discussões nos grupos. Destacamos também a importância dos gestos utilizados pelos alunos para demonstrar a ideia de rompimento de interação intermolecular (*etapa expressar o modelo em algum modo de representação*).

Em seguida, a pesquisadora retomou a recapitulação da Atividade 3:

Pesquisadora: “Como vocês comprovaram que essa interação entre as moléculas é fraca a partir da Atividade 3?”

[Falas confusas]

Hebert (G₁): “Pois o grafite, quando ele está quente, ele não sofreu mudança nenhuma. Então no caso ele é todo ligação covalente.”

Pesquisadora: “Ok, isso é coerente, mas...”

Professora: “...como está relacionado com o teste, que a gente fez aqui na última aula?”

[Falas confusas]

Professora: “Aquela outra. Aquela que a gente pegou a solução de iodo, a batata e colocou no pão e ficou azul... E depois a gente pegou o cotonete e colocou na boca do tubo. Como é que essa experiência está relacionada com essa conclusão que você chegou?”

(Silêncio)

Esse trecho evidencia que os alunos da turma não conseguiram propor uma explicação oral para o teste realizado na Atividade 3 como uma comprovação de que as interações intermoleculares são fracas. Uma suposição para isso é a existência de algumas linhas de raciocínio envolvidas na interpretação dos experimentos:

- Há iodo dissolvido em solução; esse iodo está na forma de I₂; ele reage com o amido presente nos alimentos; esse processo é evidenciado por um produto de cor azul (cujas tonalidade varia conforme a concentração de amido), o que acarreta numa conclusão: I₂ reage com amido.

- Quando o iodo é aquecido, produz-se um gás que reage com amido se e somente se este gás for formado por moléculas de I_2 , coerentemente com o teste da parte 1 do experimento.

Pareceu-nos que os alunos do grupo 2 haviam apresentado raciocínio similar em suas respostas durante a Atividade 3, mas eles não se pronunciaram na discussão, supostamente, pelo grau de dificuldade em explicar as relações.

A pesquisadora continuou a discussão da Atividade 3:

Pesquisadora: “O que vocês fizeram na aula passada? Vocês pegaram uma solução que continha iodo? O que é essa solução? Iodo, I_2 , dissolvido em álcool. Vocês pingaram gotinhas dessa solução na batata, no pão e na Maizena®, e ficou um azul para preto. Ok? Vocês aqueceram o iodo sólido, vocês colocaram o cotonete na Maizena®, o aproximaram e o cotonete ficou preto. O que esse preto no cotonete indica com relação ao iodo?”

Aluno: “É o amido que ficou presente em todos eles.”

Pesquisadora: “É o amido! Mas com que o amido reagiu?”

Alunos: “Com o iodo”.

Pesquisadora: “Com o iodo. Mas com o iodo de que forma? I_2 ? I?”

Alunos: “ I_2 .”

Esse trecho evidencia que a recapitulação do experimento e uma pergunta mais direta pareceu ter favorecido o pensamento dos estudantes quanto ao fato de a presença de iodo molecular ser comprovada através do experimento.

A pesquisadora questionou os estudantes se o teste da Atividade 3 havia favorecido a confirmação do modelo proposto na Atividade 2. Cristiane respondeu positivamente, mas não apresentou justificativa. Como esta não foi solicitada pela pesquisadora, não temos indícios sobre como se deu a compreensão da Atividade 3 pelo grupo. A seguir Iara, afirmou que o teste foi importante para o grupo dela concluir que “o iodo era formado por moléculas”, o que evidenciou mais uma vez o entendimento do teste por parte de seu grupo. A pesquisadora retomou o objetivo do teste da Atividade 3 com o intuito de torná-lo ainda mais claro para a turma. Durante a recapitulação, Igor apresentou a ideia de que “não teria como reagir o amido com I, pois esta forma é instável”. Isto foi considerado um novo argumento de defesa ao modelo do grupo 2 (M/I.3):

A₁₇G₂: **M/I.3 explica a evidência experimental** [1], porque não teria como o amido reagir com I, pois esta forma é instável [2]. (4.T-E-C-R)

A₁₇ foi classificado como argumento causal nível 4.T-E-C-R por causa do convencimento transmitido pelo aluno ao especificar que apenas o modelo que demonstrava rompimento de interação intermolecular explicaria a evidência e porque o conhecimento teórico foi relacionado à mesma.

No fim da discussão, a pesquisadora atribuiu nome aos tipos de interação (interatômica e intermolecular).

ATIVIDADE 4

Introdução

A Atividade 4 foi aplicada no dia 03/06/09. Nesse dia, a coleta de dados foi realizada sem a assistente de pesquisa e a professora teve que se ausentar da sala por problemas pessoais. Dessa forma, a aula e a coleta de dados foram conduzidas apenas pela pesquisadora. Como a atividade envolvia um experimento empírico (aquecimento do açúcar), a pesquisadora gastou um tempo considerável da aula auxiliando todos os grupos na realização do mesmo e na interpretação das evidências. Assim, não foi possível discutir mais pontualmente com os grupos 2 e 4 durante a aula e, ao mesmo tempo registrar a discussão em vídeo. Portanto, a análise foi realizada utilizando os poucos registros de vídeo, a atividade escrita e o fechamento (ocorrido em outra aula).

Grupo 2

Pelos registros de vídeo, foi possível perceber que o grupo 2 conseguiu compreender com tranquilidade (e sem o auxílio da pesquisadora) a relação dos dados com o modelo de interação intermolecular para o iodo após ter claro que, primeiro, ocorria a fusão do açúcar e, posteriormente, sua decomposição, isto é, uma reação química que conduzia à formação de água e carvão. Afirmamos isso porque, quando solicitado a pensar como o modelo proposto anteriormente podia explicar o comportamento do açúcar, Igor afirmou com segurança que: “O modelo do iodo serve para explicar o que acontece com as moléculas apenas no processo de fusão.”

A pesquisadora perguntou ao grupo “Como vocês propõem um modelo para explicar a decomposição?” Igor, apoiado por Iara e Raquel, respondeu que “primeiro eu vou mostrar as partículas C, H e O que compõem a molécula de açúcar. Depois vou mostrar elas mais afastadas na fusão e que quando decompõe ocorre quebra da ligação química” (etapas

elaborar e expressar MI.I.4). A pesquisadora disse ao grupo que o raciocínio era coerente. Mais a frente, eles a questionaram sobre “como representar o açúcar?”. A pesquisadora lhes informou que a molécula era complexa, que de forma simplificada poderia ser compreendida como um hidrato de carbono $C_{12}(H_2O)_{11}$ e que eles poderiam utilizar uma representação simplificada. As ideias apresentadas pelo grupo foram expressas em um modelo 2D (figura 5.16) (etapa *expressar em alguns dos modos de representação*):

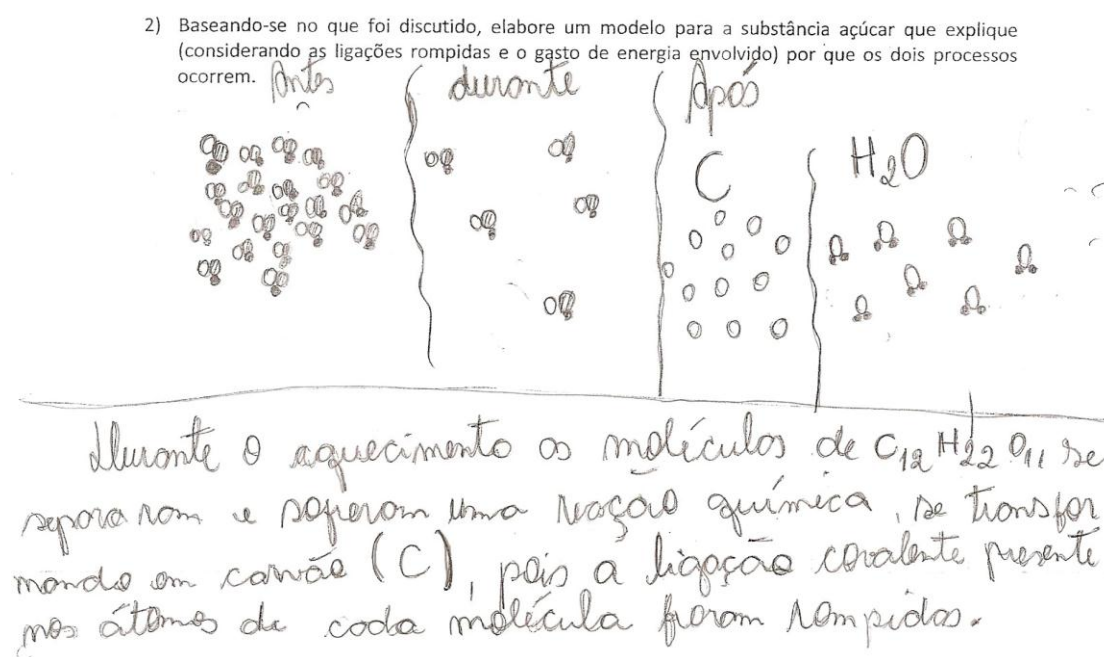


Figura 5.16. MI.I.4: Interpretação do grupo 2 do experimento de aquecimento do açúcar.

Na explicação dos alunos, não foi levado em consideração o gasto energético para justificar porque os dois processos ocorriam, isto é, eles não explicitaram que a energia associada à decomposição era próxima daquela gasta na fusão – o que conduziria à melhor compreensão da ampliação e limitação do modelo para interações intermoleculares proposto nas atividades anteriores. A pesquisadora pediu ao grupo que justificasse porque esses processos ocorriam levando em conta a questão energética. Eles perguntaram a ela qual seriam os valores de temperatura de fusão e ebulição do açúcar. Ela lhes informou que a temperatura de fusão era 185°C , mas que não havia valor de temperatura de ebulição. Com isso, eles concluíram que não havia temperatura de ebulição, pois “com um pouco mais de energia o açúcar já sofria decomposição”. Podemos dizer que essas ideias expressam um argumento de nível 3.T-E-C para ampliação do modelo.

A₁₈G₂: **As interações intermoleculares e as ligações covalentes são rompidas.** As primeiras por causa da fusão [1] e as segundas porque com um pouco mais de energia (acima do valor de temperatura de fusão) o açúcar sofre decomposição [2]. (3.T-E-C)

Podemos afirmar que o grupo 2 conseguiu utilizar coerentemente os dados primários disponibilizados na Atividade 4 pelo modelo apresentado pelo grupo (figura 5.16) e pela justificativa dada ao mesmo (A₁₈). Destacamos que a pesquisadora questionou os estudantes sobre os aspectos energéticos envolvidos nos processos (fusão e decomposição) com o intuito de ampliar o entendimento deles.

Grupo 4

Não temos discussões gravadas no vídeo com o grupo 4. Considerando apenas o que foi registrado na atividade escrita, podemos afirmar que as alunas apresentaram um modelo (figura 5.17).

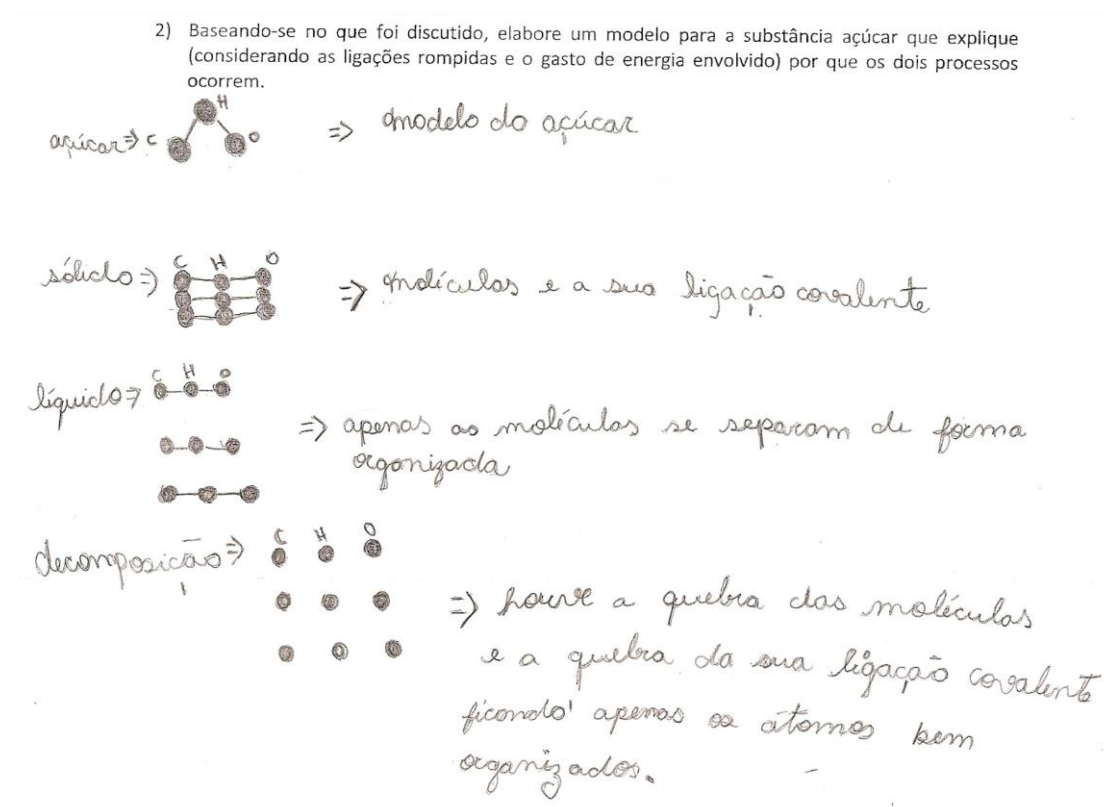


Figura 5.17. M.I.I.5: Interpretação do grupo 2 do experimento de aquecimento do açúcar.

O modelo apresenta aspectos coerentes e incoerentes quanto ao processo de aquecimento do açúcar. A coerência do modelo se relaciona à distinção entre ligação

covalente e interações intermoleculares e à associação de cada um desses processos com as evidências experimentais. A incoerência se relaciona à representação adotada para as partículas na decomposição, pois a pesquisadora havia especificado para a turma que os produtos gerados eram carvão (C) e água (H₂O). A ideia de organização das moléculas no estado líquido e dos átomos na decomposição também é incoerente. Podemos afirmar que as alunas souberam usar as evidências primárias disponibilizadas pela atividade a partir do que é evidenciado na figura 5.19, apesar de não terem explicitado nenhum argumento que justificasse a ocorrência dos processos (ver fechamento da Atividade 4), ou de não termos tido acesso a esse argumento. Ou seja, elas não justificaram explicitamente o modelo levando em consideração a questão energética.

Considerações Finais

Inicialmente, foram retomadas as evidências experimentais. Depois foram propostas questões a cada um dos grupos com o intuito de verificar a compreensão dos mesmos sobre os fenômenos observados e os modelos de ligação química. Sobre “como explicar o processo de fusão”, o grupo 1 respondeu que “havia separação das moléculas do sólido covalente”. Nesse ponto, a pesquisadora deixou claro que apesar de o açúcar ser formado por ligações covalentes, ele era um sólido molecular. Ela lhes disse que o grafite era um sólido covalente e que a evidência da diferença entre ele e os sólidos moleculares eram os valores de temperatura de fusão e ebulição.

A segunda questão solicitava esclarecimentos sobre “como o modelo do iodo poderia ser usado para explicar o que havia ocorrido com o açúcar”. O grupo 2 respondeu que o modelo poderia ser usado “parcialmente, pois o iodo era formado por moléculas, mas não rompia a ligação interatômica”.

A terceira questão solicitava esclarecimento quanto ao fato de “o açúcar ter ou não valor definido de temperatura de ebulição”. O grupo 3 afirmou que o “açúcar tinha esse valor definido”. Igor afirmou categoricamente que “não”. A pesquisadora confirmou que não, porque a substância se decompunha antes. As respostas dadas pelo grupo 2 demonstraram mais uma vez que o grupo compreendeu as evidências e o modelo devido ao argumento expresso pelos seus componentes:

A₁₉G₂: **MI.I.₃ explica parcialmente o que ocorre com o açúcar**, pois apesar de este ser formado por moléculas, ele tem suas ligações covalentes rompidas, o que é

evidenciado pela ausência de temperatura de ebulição. (4.T-E-C-R)

Classificamos A₁₉ como 4.T-E-C-R em função de o grupo 2 ter ponderado o que o modelo explicava ou não para o açúcar em comparação com o iodo e pela relação dos conhecimentos teóricos e evidências experimentais demonstrada no mesmo.

A quarta questão, dirigida ao grupo 4, visava esclarecer porque o modelo que representava os dois processos (fusão e decomposição) explicava as observações experimentais e porque eles aconteciam. As alunas responderam que a fusão era explicada pela separação das partículas e a decomposição com base no rompimento das interações intermoleculares, sem relacionar explicitamente com os valores energéticos, isto é, que a energia gasta para fundir era próxima daquela gastar para decompor. Assim, reconstruímos o argumento do grupo quanto ao poder explicativo de *MI.I.5* para o que ocorria com o açúcar:

A₉G₄: ***MI.I.5 explica o que acontece com o açúcar*** porque demonstra o rompimento da interação intermolecular na fusão [1] e o rompimento da interação interatômica na decomposição [2]. (3.T-E-C)

Classificamos A₉ como 3.T-E-C pelo relacionamento dos conhecimentos teóricos e empíricos para explicar os processos ocorridos com o açúcar.

A pesquisadora afirmou que a explicação era coerente, mas que era necessário pensar na energia para entender porque os dois processos ocorriam, isto é, que era necessário pensar que a energia para decomposição era bem próxima daquela gasta na fusão. Assim, ela levantou as *abrangências e limitações do modelo*, no sentido de deixar claro que para um sólido molecular é correto pensar que há apenas rompimento de interações intermoleculares quando aquecido, mas que poderia haver rompimento das interações interatômicas dependendo da ocorrência de algum outro processo não físico em temperaturas mais baixas (menor energia) (quando comparado à fusão de sólidos covalentes (maior energia)). A pesquisadora terminou a aula enfatizando as diferenças entre as propriedades de sólidos covalentes e moleculares.

Por fim, ressaltamos que a relação da professora com os estudantes também se manteve tranquila, assim como na estratégia de ligações iônicas, e que os pontos de vista dos colegas eram respeitados durante os fechamentos das atividades, pois não percebemos

que qualquer aluno julgava seu ponto de vista melhor do que o do colega. Como em algumas discussões das atividades de ligação iônica, às vezes aconteceu de um colega querer expressar seu ponto de vista no lugar do outro por vontade de expor as ideias na discussão, mas não por julgar a ideia do outro como sem sentido. Na nova formação do grupo 2, todas as ideias pareciam ser bem recebidas entre os componentes. No grupo 4, as ideias circulavam mais entre Sara, Cristiane e Paola. As outras colegas (Joana e Aline) não expunham as suas ideias e Daniela as expressava quando estava atenta à discussão.

5.3. ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO

Com o objetivo de responder as questões de pesquisa, os argumentos apresentados nos estudos de caso para cada um dos grupos foram analisados a partir de cinco critérios: relação de cada argumento com (i) o diagrama Modelo de Modelagem; (ii) o uso de dados; (iii) a postura do grupo; (iv) os conhecimentos prévios do grupo e (v) a postura da professora e/ou pesquisadora.

Inicialmente apresentamos a análise da estratégia de ensino de ligações iônicas e, posteriormente, a análise da de interações intermoleculares. Em seguida, estabelecemos uma comparação entre as estratégias em termos dos argumentos e dos fatores que influenciaram na expressão dos mesmos.

5.3.1. Ligações Iônicas

Atividade 3

Os quadros 5.1 e 5.2 apresentam os argumentos expressos na Atividade 3 pelos grupos 2 e 4, respectivamente:

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₁	1.E-A	Se tungstênio (domínio análogo) é <u>condutor</u> , magnésio (domínio alvo) também é .	Atividade prévia, que fundamentou <i>ter experiências com o alvo</i> .
A ₂	1.E-C	A luz é explicada pela <u>condução do metal</u> .	Atividade prévia, que fundamentou <i>ter experiências com o alvo</i> .

Quadro 5.1. Argumentos expressos por G₂ na Atividade 3 de ligações iônicas.

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₃	1.E-C	<u>Existem duas substâncias, quando estão em repouso a cor é amarela, quando são agitadas a cor é azul.</u>	Atividade prévia, que fundamentou <i>ter experiências com o alvo</i> .

Quadro 5.2. Argumentos expressos por G₄ na Atividade 3 de ligações iônicas.

Ambos os grupos tiveram posturas similares nessa Atividade. Eles tiveram muitas dificuldades com as questões e interpretações dos experimentos (assim como toda turma). Os estudos de caso evidenciaram que os grupos não tinham clareza sobre as distinções entre transformação química e transformação física. Mesmo na ausência desses conhecimentos prévios, os grupos produziram argumentos para explicar a origem da luz proveniente da queima do magnésio (grupo 2) e o número de substâncias presentes na “garrafa mágica” (grupos 2 e 4). É importante destacar que todos os argumentos foram embasados em *justificativas empíricas*, sendo que em A₃G₂ e A₁G₄ foram usadas *evidências primárias* disponibilizadas pela Atividade. Além disso, os dois grupos expressaram *argumentos analógicos* para responder as questões. Parece que isto decorreu da falta de conhecimentos prévios específicos. Apesar desses argumentos não serem capazes de explicar os fenômenos observados, eles foram classificados como coerentes a partir da observação dos processos vividos pelos grupos. Os grupos 2 e 4 não conseguiram apresentar uma justificativa plausível para o ponto de vista transformação química, supostamente pela falta de compreensão desse tipo de fenômeno no nível submicroscópico, apesar da insistência da professora para que eles pensassem em termos das partículas. Portanto, essa falta de conhecimento impediu a produção de argumentos mais próximos daqueles associados à explicação científica.

Podemos destacar que a modelagem favoreceu a expressão de argumentos em dois aspectos. Primeiro, pelo contato com o segmento macroscópico dos fenômenos químicos, que forneceu elementos para os argumentos com justificativas empíricas (subetapa *ter experiências com o alvo*). Segundo, porque as ideias dos estudantes foram respeitadas e levadas em consideração pela professora, de forma diferente do que ocorre no ensino tradicional, em que os estudantes têm pouca oportunidade de expressar seus pontos de vista, por exemplo, quando são utilizadas atividades experimentais meramente verificacionais (Cachapuz et al., 2005). No caso analisado, a consideração das ideias dos

estudantes para produção de conhecimentos era algo totalmente novo no Ensino de Química.

Nas discussões com os dois grupos, a professora agiu como *antagonista* na tentativa de invalidar pontos de vista e justificativas que não eram coerentes com a visão científica. Isto era coerente com seu objetivo, enquanto professora, de promover a ampliação cultural dos estudantes a partir da explicação científica para os fenômenos. Tal aspecto também se difere consideravelmente do ensino tradicional, pois, nesse caso, os conhecimentos não foram impostos aos estudantes (Cachapuz et al., 2005; Mortimer, 1996).

Atividade 5

Os quadros 5.3 e 5.4 apresentam os argumentos e uma síntese do que acontecia no processo de modelagem quando eles foram expressos na Atividade 5 pelos grupos 2 e 4, respectivamente:

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₄	1.C	O modelo explica o comportamento do sal em água , porque representa mais solvente do que soluto.	Elaboração e expressão de modelo de dissolução do NaCl em água.
A ₅	2.T-C	Os íons se ligam da forma mostrada em ML.I.₁ , <u>porque há atração entre os íons de cargas opostas [1]. Quanto mais próximos os íons, maior interação e quanto mais afastados, menor interação [2].</u>	Elaboração e expressão de ML.I. ₁ G ₂ para o NaCl.

Quadro 5.3. Argumentos e modelos expressos por G₂ na Atividade 5 de ligações iônicas.

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₂	3.T-E-C	Os íons se ligam da forma mostrada em ML.I.₁ <u>devido às atrações das cargas opostas [1]</u> porque o cloreto de sódio é sólido [2].	Elaboração e expressão de ML.I. ₁ G ₄ para o NaCl.

Quadro 5.4. Argumento e modelo expressos por G₄ na Atividade 5 de ligações iônicas.

Foi possível observar um bom comprometimento com a modelagem ('doing science') em ambos os grupos, o que ocasionou a expressão de argumentos do tipo 2.T-C

(no qual há um raciocínio cientificamente coerente para expressar a interação entre partículas em função da distância entre elas) no grupo 2 e 3.T-E-C (no qual há uso de conhecimentos científicos relevantes – lei de Coulomb e modelo de partículas – para explicar a formação do cloreto de sódio) no grupo 4. Parece que a solicitação do uso de materiais concretos (após o entendimento de como usá-los) para elaboração e expressão do modelo para o cloreto de sódio favoreceu o pensamento dos estudantes a respeito do aspecto submicroscópico da matéria, que foi devidamente levado em consideração nos argumentos. Ambos argumentos apresentados pelos grupos para o explicar as ligações no cloreto de sódio são embasados em um conhecimento teórico relativo à interação entre íons de cargas opostas, que julgamos poder ter origem tácita (Taber, 2000) e/ou que pode ter sido influenciado pelas discussões da professora sobre o gráfico de poço potencial, na Atividade 3. Assim, julgamos que houve influência das etapas 1 e 2 (*elaborar e expressar modelos em alguns dos modos de representação*) do diagrama Modelo de Modelagem nos argumentos. Parece que isto resultou na presença de um elemento teórico (submicroscópico) nas justificativas e, conseqüentemente, em argumentos científicos curriculares de melhor qualidade. Por isso concluímos que *os conhecimentos científicos foram importantes para melhorar a qualidade dos argumentos* (Chin & Osborne, 2010; von Auschnaiter et al., 2008).

Em ambos casos, os argumentos são causais, muito provavelmente porque o objetivo dos mesmos era evidenciar como o modelo explicava as ligações presentes no cloreto de sódio. Assim, pode-se assumir a influência das atividades de modelagem, que sempre exigiam uma justificativa para o modelo expresso, em nível submicroscópico (como pode ser observado nas solicitações presentes nas atividades escritas e as que foram feitas pela professora e/ou pesquisadora), na formulação de argumentos científicos curriculares.

Por outro lado, a discussão a respeito da relação entre abaixamento de energia e estabilidade, que também ocorreu na Atividade 3, não influenciou nos argumentos para explicar as ligações apresentadas nos modelos. As evidências a respeito dessa relação são consideradas primárias pelo fato de os estudantes as terem coletado. Entretanto, a compreensão das relações propostas a partir das evidências (luz liberada na queima do magnésio e estabilidade do óxido de magnésio; estabilidade do sistema de cor amarela da “garrafa mágica” em função do menor conteúdo energético) não é simples. A extrapolação dessas relações para explicar as ligações no cloreto de sódio também é algo difícil para os estudantes (Teichert & Stacy, 2002). A não influência da evidência primária obtida na

Atividade 3 nas respostas dos estudantes na Atividade 5 pode ter sido consequência da falta de conhecimentos prévios dos mesmos. A análise adequada de evidências têm relação com o *contexto* em que são utilizadas (Kerlin et al., 2010), isto é, a ausência de conhecimentos dos estudantes pode ter impedido a utilização da evidência nos argumentos. O não uso da evidência também pode ser atribuído à *complexidade* das relações (Kerlin et al., 2010) que deveriam ser estabelecidas pelos sujeitos para justificar a formação do NaCl a partir do abaixamento de energia.

Na Atividade 5, é possível dizer que a professora assumiu uma postura de *neutralidade* tanto nas discussões com os grupos quanto nas discussões com a turma, supostamente porque os modelos não estavam em fase de teste.

Atividade 6

Os quadros 5.5 e 5.6 apresentam os argumentos e uma síntese do que acontecia no processo de modelagem quando eles foram expressos na Atividade 6 pelos grupos 2 e 4.

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₆	1.T-C	ML.I.₁ não explica a temperatura de fusão, porque não mostra todas as interações fortes.	Refutação a ML.I. ₁ G ₂ durante a condução do experimento mental.
A ₇	2.T-C	Vamos ter que reformular ML.I.₁, pois as partículas tem que estar mais unidas [1] porque as atrações são fortes [2].	Expressão verbal de ML.I. ₂ G ₂ como resultante da condução do experimento mental.
A ₈	3.T-E-C	O modelo 'NaCl molécula' não explica a temperatura de fusão, porque não mostra todas as partículas próximas [1] e com atrações fortes [2], levando à menor temperatura de fusão [3].	Refutação do modelo "NaCl molécula" como resultante da condução do experimento mental.
A ₉	4.T-E-C-R	ML.I.₁ e modelo 'NaCl molécula' não explicam a temperatura de fusão. ML.I.₂ é plausível porque mostra partículas próximas [1], com várias atrações [2], cuja força varia com a distância [3].	Discussão sobre abrangência de ML.I. ₂ G ₂ e limitação de ML.I. ₁ G ₂ e "NaCl molécula".

Quadro 5.5. Argumentos e modelos expressos por G₂ na Atividade 6 de ligações iônicas.

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₃	1.T-C	ML.I.₁ explica a temperatura de fusão por mostrar atrações fortes.	Defesa de ML.I. ₁ G ₄ como resultante da condução do experimento mental.
A ₄	4.T-E-C-R	Modelo em rede explica o dado porque as partículas estão interagindo próximas umas às outras [1]. Modelo 'NaCl molécula' é incoerente porque se as interações entre as partículas fossem iguais, elas deveriam se unir [2].	Discussão sobre abrangência de ML.I. ₂ G ₄ e limitação de "NaCl molécula".

Quadro 5.6. Argumentos e modelos expressos por G₄ na Atividade 6 de ligações iônicas.

Foi possível perceber um bom engajamento na modelagem ('doing science') nos dois grupos, o que ocasionou a expressão dos argumentos científicos curriculares. Ambos são causais devido à justificativa de como é possível a explicação do dado a partir do modelo. A partir dos argumentos produzidos pelos grupos 2 e 4, foi possível constatar que a *etapa de testes* do diagrama Modelo de Modelagem (*conduzir experimento mental*) foi fundamental para a elaboração e produção de argumentos de alta qualidade (A_8G_2 , A_9G_2 , A_4G_4). O *dado secundário* (temperatura de fusão do cloreto de sódio) foi devidamente utilizado na rejeição e modificação (grupo 2) e confirmação (grupo 4) de modelos.

Para o grupo 2, foi possível perceber um aumento na qualidade dos argumentos com o desenvolvimento das discussões no grupo, pois a maior clareza acerca do modelo em rede acarretou em devidas conexões causais entre o dado (temperatura de fusão) e conhecimentos teóricos relacionadas ao processo de fusão dos sólidos iônicos. Para esse grupo, o dado secundário era anômalo a $ML.I_1G_2$. Tal dado foi devidamente interpretado e utilizado na refutação de $ML.I_1G_2$. Portanto, o grupo 2 *modificou centralmente o modelo a partir do dado anômalo*. É relevante enfatizar a importância do papel *antagonista* assumido pela professora e/ou pesquisadora na rejeição de $ML.I_1G_2$ e o papel *protagonista* na proposição de $ML.I_2G_2$, isto é, auxiliando na interpretação do dado anômalo. No caso do grupo 4, como o dado não era discrepante com $ML.I_1G_4$, ele foi usado para confirmá-lo.

É importante ressaltar também a influência da etapa de *verificação de abrangências e limitações de um modelo* do diagrama Modelo de Modelagem, que ocorreu a partir da solicitação da professora e/ou pesquisadora para reflexão acerca dos modelos "NaCl molécula" e em rede, porque ela favoreceu o uso de elemento retórico, conduzindo a um argumento de nível 4 (A_9G_2). Esta etapa favoreceu o uso de elemento retórico pela defesa de um modelo em relação ao outro avaliado. Em outras palavras, um modelo foi considerado melhor do que o outro pela análise das evidências (justificativas) e pelo convencimento transmitido sobre isso (persuasão). O convencimento transmitido pela fala é considerado bastante relevante quando se analisa a argumentação, pois segundo a literatura (Berland & Reiser, 2009; Sandoval & Millwood, 2008), os estudantes geralmente se preocupam em chegar na "resposta correta" e não em enfatizar porque ela é melhor do que as outras possíveis em uma situação de defesa pública da mesma.

Destacamos também a importância da *socialização* dos modelos para expressão de um novo argumento (A_4G_4) e para a retomada de argumento expresso anteriormente (A_9G_2).

A expressão desses argumentos nos proporcionou evidências sobre o bom entendimento dos grupos a respeito do modelo em rede, devido à defesa dos mesmos e à elaboração de críticas fundamentadas ao modelo “NaCl molécula”. Ressaltamos a importância da organização das discussões encaminhada pela professora, pois ela impediu que houvesse avanço das justificativas daqueles que eram favoráveis ao modelo em rede anteriormente à exposição das justificativas daqueles que defendiam o modelo molecular. Julgamos que o “ataque” e a “defesa” de modelos distintos através de argumentação racional é muito importante para a melhoria da qualidade da argumentação científica escolar e para a melhor compreensão dos modelos curriculares (o que foi evidenciado pelos argumentos de nível 4 e modelos em rede propostos ao final da Atividade) (Duschl & Osborne, 2002; Osborne & Patterson, 2011).

Devemos destacar também o papel da professora e/ou pesquisadora para o favorecimento da ocorrência dos argumentos de elevada qualidade, pois foram elas que questionaram os modelos (em rede e “NaCl molécula”) para os grupos durante as discussões e na socialização dos modelos da turma. Além disso, nos grupos analisados não verificamos discordâncias de pontos de vista entre os componentes, isto é, não percebemos refutações no próprio grupo. Nos grupos, as atitudes dos alunos indicavam que o mais importante era unir esforços para propor um modelo que explicasse o dado. As indagações da professora e/ou pesquisadora foram importantes na condução dos experimentos mentais e na verificação de abrangência e limitação dos modelos, o que favoreceu os argumentos e refutações. Para tanto, muito contribuíram os conhecimentos anteriores da pesquisadora (por exemplo, sobre a diferença de intensidade de atração entre o par e os pares iônicos) adquiridos em aplicações anteriores da estratégia de ensino, que foram utilizados pela professora na refutação dos modelos em rede.

Além disso, em nenhum momento a professora e/ou pesquisadora impuseram algum modelo para os alunos, mas fizeram *questões, colocações, dicas que favoreceram a rejeição e modificação dos modelos* (Clement, 2008c; Clement & Núñez-Oviedo, 2008). Tal atitude foi coerente tanto com a modelagem quanto com os objetivos escolares de encaminhar as discussões a favor do modelo científico curricular. Isto foi realizado de forma distinta ao que ocorre no ensino tradicional, no qual os modelos são apresentados aos estudantes sem discussão das propriedades das substâncias que justificam a adoção de um determinado modelo (Caamaño, 2010; Jiménez-Aleixandre, 2010) ou porque um modelo é mais satisfatório que outro (Osborne & Patterson, 2011).

Percebemos que a *manipulação dos modelos concretos* favoreceu as discussões nos grupos, pois as ideias fundamentais expressas nos modelos eram retomadas e a discussão da coerência ou não das mesmas em relação ao dado se dava através da manipulação deles. Julgamos que isto favoreceu a argumentação devido à *visualização* do que ocorre com as partículas em nível submicroscópico (Erduran, 2008).

Atividade 7

O quadro 5.7 apresenta o argumento elaborado e uma síntese do que acontecia no processo de modelagem na Atividade 7 para o grupos 4:

Identificação	Tipo	Argumento	Modelagem
A ₅	4.T-E-C-R	Apenas ML.I.₁' explica o dado (206kcal/mol) [1] porque nele as partículas estão unidas e organizadas [2].	Avaliação de abrangência de ML.I.'G ₄ e limitação de modelo "NaCl molécula".

Quadro 5.7. Argumento e modelo expressos por G₄ na Atividade 7 de ligações iônicas.

Apesar de os dois grupos terem se envolvido na modelagem, apenas o grupo 4 conseguiu confirmar o modelo em rede a partir dos dados secundários disponibilizados pela Atividade e apresentar um argumento para demonstrar a coerência do modelo proposto pelo grupo. Nenhum dos grupos conseguiu relacionar explicitamente a ideia de que o maior abaixamento de energia explica a estabilidade da rede iônica em função dos dados, o que indica que as relações estabelecidas na Atividade 3 a respeito desse aspecto não estavam claras para os grupos. Assim, podemos concluir que o dado secundário da Atividade 7 não foi levado em consideração pelo grupo 2 para confirmar a validade do modelo em rede proposto pelo grupo, supostamente porque eles já tinham grande confiança no modelo em rede desde a Atividade 6. Pode ser também que o grupo 2 não tenha compreendido o dado ou que os alunos tivessem se desviado do foco principal da Atividade. Podemos concluir também que o dado secundário foi interpretado parcialmente pelo grupo 4 para confirmar o modelo em rede proposto pelo grupo, mas que mesmo essa interpretação parcial conduziu a um argumento de nível 4. Eles utilizaram os dados sobre energia para confirmar a existência do cloreto de sódio em rede, mas não relacionaram isso explicitamente com a relação 'maior estabilidade – menor energia'. Dessa forma, concluímos que a relação entre abaixamento de energia e maior estabilidade da substância formada em função das ligações químicas foi complexa para os estudantes, independente de as evidências da mesma serem

primárias ou secundárias. Assim, a *complexidade* do conhecimento influenciou no uso dos dados (Kerlin et al., 2010).

Na Atividade 7 não houve uma demanda intensa de discussões desses grupos com a professora sobre a credibilidade de seus modelos (como havia ocorrido na Atividade 6), pois parecia que tal aspecto havia ficado claro naquela atividade. Dessa forma, podemos concluir que *a fase de testes é primordial quando há dúvidas sobre os modelos*, pois quando há essa dúvida ocorre o favorecimento da produção de argumentos e refutações, em concordância com as ideias de Jiménez-Aleixandre (2010) a respeito da ocorrência de argumentação quando conhecimento é submetido a teste na existência de provas para comprová-lo ou refutá-lo.

5.3.2. Interações Intermoleculares

Atividade 1

O quadro 5.8 apresenta os argumentos expressos pelo grupo 2 na Atividade 1. O grupo 4 não apresentou argumento nessa Atividade, a nosso ver porque as alunas não se concentraram devidamente na modelagem.

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₁₀	1.E-C	O iodo vai fundir e o grafite não vai fundir porque o primeiro tem <u>temperatura de fusão menos elevada do que a da chama</u> , enquanto o segundo tem <u>temperatura de fusão mais elevada do que a da chama</u> .	Elaboração de previsões (subetapa <i>ter experiências com o alvo</i>).
A ₁₁	3.T-E-C	No iodo há <u>rompimento de ligações</u> [1] <u>porque sua temperatura de fusão é baixa</u> [2]. No grafite há apenas <u>vibração das partículas</u> [1] <u>porque sua temperatura de fusão é elevada</u> [2].	Comparação das previsões com o experimento e justificativa para o ocorrido (subetapa <i>selecionar a origem para o modelo</i>).

Quadro 5.8. Argumentos expressos por G₂ na Atividade 1 de interações intermoleculares.

O grupo 2 se focou na atividade de modelagem ('doing science'), o que ocasionou a produção de dois argumentos científicos curriculares. A₁₀ pareceu ser fruto das *influências da atividade de modelagem para ligações iônicas*, pois os alunos raciocinaram de forma

similar na Atividade 6, isto é, eles tinham noção de que, com base nos valores das temperaturas de fusão em comparação com a temperatura atingida pela chama, era possível prever o que iria ocorrer com os sólidos quando aquecidos. A_{10} tem *justificativa empírica* justamente devido ao raciocínio baseado nos dados, inicialmente, secundários. O raciocínio explicitado pelo grupo nos fez perceber ‘o que contava’ como justificativa para eles naquela ocasião (Duschl, 2008).

A professora pediu para os estudantes raciocinarem com base nas partículas presentes nos sólidos, isto é, com foco no nível submicroscópico. Esta solicitação foi entendida com tranquilidade pelos alunos do grupo 2, pois eles propuseram uma explicação para o ocorrido com base no modelo de partículas, que era claro para eles, segundo os mesmos (A_{11}). Acreditamos que isto resultou de *influência da atividade de modelagem para ligações iônicas*, na qual essa solicitação foi feita constantemente pela professora (principalmente nas Atividades 3 e 6). A explicitação do modelo de partículas por uma das alunas nos deu indícios da seleção de um modelo prévio para seu argumento (*selecionar a origem para o modelo*). Os conhecimentos prévios do modelo de partículas favoreceram a produção do argumento A_{11} , que tem elementos empíricos (relativos aos dados de temperatura de fusão) e teóricos (associado ao modelo de partículas).

Podemos afirmar que os dados de temperatura de fusão foram usados coerentemente pelo grupo na previsão e na explicação para o ocorrido no experimento. Julgamos que os mesmos podem ser considerados de menor *complexidade* pelos estudantes e que o *contexto* de aplicação dos mesmos (após as atividades de ligações iônicas) tenha favorecido o uso. É importante destacar que apesar de o grupo usar os dados, não era tão claro para os alunos (como evidenciado pela discussão da professora com a turma) o que seria uma ‘evidência’. Julgamos que tenha sido primordial a professora utilizar o termo evidência e solicitar uma evidência para a turma (no caso, para provar que o iodo não tinha sofrido reação química) para promoção da enculturação científica (Driver et al., 2000), em particular, para um metaconhecimento sobre argumentação (Jiménez-Aleixandre, 2008). Essa solicitação também foi importante para melhor compreensão do fenômeno como físico pelos estudantes e para fornecer experiências com o alvo a ser modelado na Atividade 2.

Atividade 2

Os quadros 5.9 e 5.10 apresentam os argumentos e uma síntese do que acontecia no processo de modelagem quando eles foram expressos na Atividade 2 pelos grupos 2 e 4, respectivamente:

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₁₁	3.T-E-C	No iodo há <u>rompimento de ligações</u> [1] porque sua temperatura de fusão é baixa [2]. No grafite há apenas <u>vibração das partículas</u> [1] porque sua temperatura de fusão é elevada [2].	Elaboração e expressão de $MI.I_1G_2$: rompimento de interação interatômica no iodo.
A ₁₂	1.T-C	A ligação quebrada no iodo não pode ser iônica porque ela envolve átomos idênticos.	Refutação à ideia de ligação iônica presente em $MI.I_1G_2$ devido às experiências com o alvo.
A ₁₃	1.T-C	A ligação quebrada no iodo é covalente porque cada átomo fica com sete elétrons.	Justificativa para o tipo de ligação presente em $MI.I_1G_2$.
A ₁₄	1.T-C	$MI.I_1$ explica a diferença dos sólidos quanto ao aquecimento porque a ligação do iodo é mais fraca por compartilhar apenas um elétron. A ligação do carbono é mais forte por compartilhar quatro elétrons.	Defesa de $MI.I_1G_2$.
A ₁₅	3.T-E-C	$MI.I_3$ explica as evidências porque a fusão do grafite requer mais energia (porque grafite não é molecular) e a fusão do iodo requer menos energia (porque iodo é molecular).	Elaboração e expressão de $MI.I_3G_2$ como resultado da condução de experimento mental.

Quadro 5.9. Argumentos e modelos expressos por G_2 na Atividade 2 de interações intermoleculares.

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₆	1.R-A	Se iodo (domínio análogo) é representado por I ₂ , grafite (domínio alvo) é representado por C₂ .	Elaboração e expressão de M.I. ₁ 'G ₄
A ₇	1.E-C	No grafite não há quebra das ligações porque há várias <u>ligações fortes, que requerem muita energia para serem rompidas.</u>	Elaboração e expressão de M.I. ₃ G ₄ : rompimento de interação ocorre com o iodo e não com o grafite.
A ₈	3. T-E-C	A energia fornecida para o iodo serviu apenas para afastar as moléculas, mas não romper suas ligações [1], pois ele <u>retornou ao estado sólido quando aquecido</u> [2]. No grafite não há rompimento da ligação , pois <u>não ocorreu transformação em seu aquecimento</u> [1], <u>porque ele é formado por uma rede</u> [2].	Elaboração e expressão de M.I. ₄ G ₄ (rompimento de interação intermolecular no iodo) em consequência da evidência experimental (ter experiências com o alvo) e da condução do experimento mental.

Quadro 5.10. Argumentos e modelos expressos por G₄ na Atividade 2.

Os dois grupos se envolveram bastante na modelagem, o que ocasionou a proposição de vários argumentos científicos curriculares. O grupo 2 propôs três argumentos do tipo 1.T.C (A₁₂, A₁₃ e A₁₄) que levavam em consideração os conceitos de ligação iônica (A₁₂) e ligação covalente (A₁₃ e A₁₄) para justificar o abandono (A₁₂) e a adoção (A₁₃ e A₁₄) de modelos. Portanto, todos argumentos iniciais produzidos pelo grupo 2 tinham algum elemento teórico, o que os difere dos argumentos iniciais produzidos pelo grupo 4, cujos alunos recorreram a justificativas empíricas e argumento analógico representacional. Nenhum dos grupos deixou de argumentar em relação aos modelos que demonstravam rompimento de interação interatômica, mas o grupo 2 preferiu utilizar conhecimentos teóricos, talvez por ter mais clareza sobre eles do que o grupo 4. O prosseguimento das discussões em ambos os grupos, principalmente devido às colocações da professora, às evidências experimentais e à condução de experimentos mentais, acarretou em argumentos (A₁₅G₂ e A₈G₄) de melhor qualidade (nível 3). Isto evidenciou (i) a influência da modelagem na melhoria da qualidade dos argumentos, mesmo com trajetórias distintas dos grupos e (ii)

a existência de argumentação, mesmo na ausência de conhecimentos teóricos específicos julgados como prévios (ligação covalente e fórmulas químicas do iodo e grafite), favorecida pela discussão de evidências experimentais.

Os estudos de caso sugerem que a compreensão da ideia de molécula (julgada como conhecimento prévio) ficou clara com o desenvolvimento da Atividade 2. Tal modificação nos conhecimentos científicos também parece ter influenciado a qualidade dos argumentos dos alunos e a melhor adequação de seus modelos. Além disso, a compreensão dos conhecimentos científicos foi consequência da elaboração dos argumentos e modelos, isto é, *argumentar para aprender implicou em aprender a argumentar* (Cross et al., 2008; Schwarz, 2009).

Para ambos os grupos, é válido destacar a *influência da estratégia de ensino de ligações iônicas* na elaboração de modelos e argumentos sobre interações intermoleculares. Apesar de a ligação covalente ter sido lembrada com o grupo 2 na Atividade 1, eles preferiram raciocinar inicialmente com base na ligação iônica, supostamente por influência das atividades de modelagem, nas quais os conceitos relativos à ligação iônica devem ter ficado bem mais claros do que aqueles relativos à ligação covalente, trabalhados pela professora de forma tradicional após o ensino de ligação iônica. Em um momento posterior, os próprios alunos conseguiram perceber que não faria sentido pensar em ligação iônica aplicada aos átomos de iodo, pois isto os impedia de explicar o que aconteceria com o elétron quando a ligação fosse rompida. Portanto, o grupo conseguiu refutar a ideia de ligação iônica aplicada ao iodo devido mesmo tipo de atração dos elétrons pelos átomos apresentando um argumento 1.T.C (A_{12}). Nesse argumento, supomos que o grupo levou em consideração um conhecimento discutido na Atividade 4 de modelagem para ligações iônicas (propriedades periódicas), o que tem relação com a subetapa *ter experiências com o alvo* do diagrama Modelo de Modelagem. Percebemos grande influência das atividades de modelagem sobre ligações iônicas nas ideias expressas pelo grupo 4, principalmente pela ideia de rede aplicada ao grafite. Como o grupo não tinha clareza sobre as ligações químicas efetuadas pelo grafite, parece ter sido influenciado pela relação entre a alta temperatura de fusão do NaCl e a sua estrutura em rede.

Ressaltamos também a influência das *evidências primárias* disponibilizadas na Atividade 1 para a proposição e refutação de modelos na Atividade 2, para ambos grupos. Com relação ao uso de dados, o grupo 2, inicialmente, *ignorou o dado anômalo* (iodo

retorna ao estado sólido quando aquecido). Entretanto, essa evidência foi devidamente utilizada pela professora e/ou pesquisadora para enfatizar as incoerências de $MI.I_1G_2$ a partir de uma série de questões visando refutá-lo (átomo de I isolado não é estável, molécula como menor unidade formada da substância iodo e a fórmula da substância não poderia ter mudado porque o fenômeno era físico). Essas várias tentativas de refutação de $MI.I_1G_2$ por parte da professora e/ou pesquisadora colaboraram para a interpretação e uso correto das *evidências primárias* em $MI.I_3G_2$.

O grupo 4 também ignorou as evidências experimentais em $MI.I_3G_4$. Entretanto, o raciocínio de Sara (sobre a coerência entre o modelo demonstrar quebra das ligações e o retorno da substância ao estado sólido) favoreceu a refutação de $MI.I_3G_4$ e a proposição de $MI.I_4G_4$. Portanto, o grupo 4 também interpretou coerentemente as *evidências primárias* obtidas na atividade de modelagem, sendo que estas foram essenciais na rejeição e modificação dos modelos apresentados pelo grupo.

Podemos afirmar também que os dados de temperatura de fusão foram bem compreendidos pelos grupos (aspecto evidenciado pelos argumentos de nível 3), o que indica que o *contexto* foi promissor para uso dos mesmos, visto que eles já haviam utilizado raciocínio similar na modelagem para ligações iônicas e que os mesmos não eram complexos para os estudantes. Também podemos afirmar que, ao mesmo tempo em que as evidências influenciaram na construção dos modelos (explicar as diferenças nas temperaturas de fusão dos sólidos), elas favoreceram os testes dos mesmos (modelo deveria ser coerente com o retorno do iodo ao estado sólido).

Destacamos, ainda, a manipulação dos *materiais concretos* no favorecimento da *comunicação, visualização e compreensão de modelos e argumentos*. Isto pode ser percebido, por exemplo, a partir das discussões da pesquisadora com os grupos, no qual ela pedia aos alunos que construíssem o modelo concreto (ou construía o modelo expresso pelo grupo anteriormente) para favorecer a comunicação e visualização, e a partir do gestual empregado pelos alunos da turma indicando a separação de moléculas na fusão do iodo durante a socialização dos modelos. Assim, concordamos com Erduran (2008) sobre a importância dos elementos não verbais na argumentação.

Em síntese, em relação a esta Atividade, é possível destacar a influência de três etapas do diagrama Modelo de Modelagem na elaboração dos modelos e argumentos de ambos os grupos: *elaboração, expressão e teste do modelo*.

Enfatizamos também a importância da *socialização* dos modelos, o que conduziu ao reaparecimento de A₁₅G₂, evidenciando compreensão do grupo quanto ao modelo que demonstrava rompimento de interação intermolecular. Destacamos o papel da pesquisadora em organizar as discussões de forma a favorecer defesas a diferentes modelos. Destacamos também a importância do papel de *antagonista* assumido pela pesquisadora e/ou professora na refutação de modelos que demonstravam rompimento de interação interatômica no iodo, como também o de *protagonista* na proposição de questões e colocação de ideias que visavam favorecer o modelo que demonstrava rompimento de interação intermolecular, sem ter havido, por parte delas, imposição de um modelo específico.

Atividade 3

No quadro 5.11 apresentamos os argumentos apresentados pelo grupo 2 na Atividade 3, assim como a síntese dos acontecimentos relativos ao processo de modelagem. O grupo 4 não apresentou argumentos, muito provavelmente porque, como comentado anteriormente, as alunas não se focaram no processo de modelagem.

Identificação	Tipo	Argumento	Modelagem
A ₁₆	4.T-E-C-R	<i>“MI.I.₃ explica as observações experimentais, porque são moléculas de I₂ que se separam, não os átomos [1], pois senão o gás não reagiria com o amido.</i>”	Confirmação de MI.I. ₃ G ₂ em função do planejamento e condução de experimento empírico e mental.
A ₁₇	4.T-E-C-R	<i>MI.I.₃ explica a <u>evidência experimental</u> [1], porque <u>não teria como o amido reagir com I</u>, pois esta forma é instável [2].</i>	Confirmação de MI.I. ₃ G ₂ na socialização dos modelos em função do planejamento e condução de experimento empírico e mental.

Quadro 5.11. Argumentos e modelos expressos por G₂ na Atividade 3 de interações intermoleculares.

Os argumentos de nível elevado indicam o grande envolvimento do grupo 2 na modelagem e a influência do *teste* para produção de argumentos de elevada qualidade, uma vez que houve a defesa do modelo que demonstrava rompimento de interação intermolecular quando este estava sendo avaliado.

Os argumentos ainda demonstram que o grupo 2 soube lidar com as *evidências primárias* disponibilizadas na Atividade 3, o que não ocorreu frequentemente com a turma, uma vez que muitos alunos tiveram dificuldades em interpretá-las e saber como usá-las para defesa do modelo que mostrava rompimento de interações intermoleculares. A dificuldade no uso das evidências pode ser devida a dois fatores. Um deles é a própria complexidade das mesmas, como evidenciado no estudo de caso. O outro se relaciona ao fato de boa parte dos grupos já ter concluído que o modelo que mostrava rompimento de interações intermoleculares era mais coerente. Assim, eles não se esforçaram em interpretar as novas evidências em relação ao modelo.

O grupo 2, bastante concentrado na Atividade, não apenas interpretou as evidências, mas também utilizou elementos retóricos visando demonstrar como $MI.I_3$ era coerente e que o mesmo não ocorria com os modelos que demonstravam rompimento de interação interatômica, isto é, utilizou da persuasão e justificação na defesa pública de $MI.I_3$. A tranquilidade na interpretação das evidências pelo grupo 2 pode ser comprovada também pela ausência de discussões com a professora e/ou pesquisadora durante a Atividade (de forma oposta ao que ocorreu na Atividade 2).

Na discussão final com a turma, visando atingir os objetivos escolares e da modelagem, a pesquisadora encaminhou as discussões para o modelo que demonstrava rompimento de interações intermoleculares. Ela fez isso a partir da retomada das evidências experimentais e da relação das mesmas com os modelos. Tal situação favoreceu a expressão de argumento pelo grupo 2, evidenciando mais uma vez o bom entendimento do grupo sobre a distinção entre os modelos.

Atividade 4

Os quadros 5.12 e 5.13 relacionam os argumentos e uma síntese do que acontecia no processo de modelagem quando eles foram expressos na Atividade 4 pelos grupos 2 e 4, respectivamente:

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₁₈	3.T-E-C	<u>As interações intermoleculares e as ligações covalentes são rompidas.</u> As primeiras <u>por causa da fusão</u> [1] e as segundas <u>porque com um pouco mais de energia (acima do valor de temperatura de fusão) o açúcar sofre decomposição</u> [2].	Condução de teste empírico e mental acerca de $MI.I_3G_2$.
A ₁₉	4.T-E-C-R	<u>MI.I₃ explica parcialmente o que ocorre com o açúcar,</u> pois apesar de este ser <u>formado por moléculas</u> , ele tem suas <u>ligações covalentes rompidas</u> , o que é <u>evidenciado pela ausência de temperatura de ebulição</u> .	Identificação de limitações e abrangências de $MI.I_3G_2$.

Quadro 5.12. Argumentos e modelos expressos por G₂ na Atividade 4 de interações intermoleculares.

<i>Identificação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Argumento</i>	<i>Modelagem</i>
A ₉	3.T-E-C	<u>MI.I₅ explica o que acontece com o açúcar</u> porque <u>demonstra o rompimento da interação intermolecular na fusão</u> [1] e o <u>rompimento da interação interatômica na decomposição</u> [2].	Condução de teste empírico e mental acerca de $MI.I_5G_4$.

Quadro 5.13. Argumento e modelo expressos por G₄ na Atividade 4 de interações intermoleculares .

Ambos os grupos tiveram uma boa participação na Atividade ('doing science'), o que parece ter contribuído para a produção de argumentos científicos curriculares. Ambos souberam usar as *evidências primárias* disponibilizadas pela Atividade na proposição de um modelo que expressava o que ocorria com a substância açúcar quando aquecida, isto é, ambos foram capazes de perceber que o novo modelo deveria mostrar o processo de fusão (rompimento de interações intermoleculares) e a decomposição (rompimento de interação interatômica em função da reação química). Isto resultou na elaboração e expressão de $MI.I_4G_2$ e $MI.I_5G_4$.

Os grupos também propuseram argumentos para defesa dos modelos. Entretanto, apenas os alunos do grupo 2 conseguiram demonstrar claramente porque os dois processos ocorriam, ao expressarem, no argumento, que mesmo o açúcar sendo um composto molecular, a quebra das ligações ocorria porque a energia necessária para a decomposição era próxima à energia requerida para a fusão. Assim, apenas o grupo 2 conseguiu explicitar que entendeu completamente as evidências primárias. Julgamos que o uso das evidências primárias pelo grupo 2 na proposição dos novos modelos tenha sido facilitado (em comparação com a Atividade 3 de ligações iônicas e a Atividade 2 de interações intermoleculares) em virtude de os alunos já terem utilizado raciocínio similar em atividades anteriores. Assim, o *contexto* favoreceu o entendimento das mesmas.

Na Atividade 4 os argumentos estão relacionados a etapa de *verificação de abrangências e limitações de um modelo*, pois os grupos já haviam concluído que o modelo mais coerente era aquele que demonstrava rompimento de interação intermolecular, portanto, deveriam analisá-lo à luz das novas evidências experimentais. Esses argumentos evidenciaram bom entendimento, por parte daqueles alunos, das evidências disponibilizadas pela Atividade 4 e dos modelos propostos pelo grupo ($MI.I_3G_2$ e $MI.I_4G_2$). Assim, a construção do conhecimento científico através da análise de dados e da proposição de modelos explicativos para os mesmos parece ter favorecido a argumentação curricular científica.

5.4. COMPARAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS

Na estratégia para o ensino de ligações iônicas (4 atividades) foram expressos 14 argumentos, sendo seis de nível 1 (1 analógico e 5 causais), dois de nível 2, três de nível 3 (2 causais e 1 causal-analógico) e três de nível 4. O grupo 2 expressou nove argumentos e o grupo 4 cinco. Apesar de o grupo 2 ter expressado mais argumentos, os grupos 2 e 4 tiveram participação similar (distinta apenas na Atividade 7). No grupo 2 foram elaborados mais argumentos de menor qualidade ao longo do processo e de melhor qualidade no final das discussões, enquanto no grupo 4 não houve uma regularidade quanto à produção de argumentos, com uma tendência à elaboração de argumentos de melhor qualidade ao final das discussões.

Na estratégia para o ensino de interações intermoleculares (4 atividades) foram expressos quatorze argumentos, sendo seis de nível 1 (5 causais e 1 analógico), cinco de

nível 3 e três de nível 4. O grupo 2 expressou dez argumentos e o grupo 4 expressou quatro argumentos. Acreditamos que isto aconteceu em função de os grupos terem tido posicionamento diferente nas Atividades 1 e 3 com relação ao comprometimento com aspectos centrais da modelagem. Além disso, o grupo 2 produziu um maior número de argumentos ao longo da Atividade 2, sendo que os mesmos foram de menor qualidade ao longo da Atividade.

Ao analisar os estudos de casos para cada uma das estratégias⁶⁰, constatamos o seguinte padrão: quatorze argumentos em cada uma, totalizando vinte e oito argumentos em 8 atividades, sendo doze (42,9%) de nível 1, dois (7,1%) de nível 2, oito (28,6%) de nível 3 e seis (21,4%) de nível 4.

Considerando esses dados, concluímos que a *modelagem favoreceu a produção de argumentos* nas duas estratégias e que houve um *padrão de qualidade dos argumentos relativamente similar*. Muito provavelmente, isto foi uma consequência do fato de as duas estratégias de ensino terem sido fundamentadas no mesmo referencial teórico (Justi & Gilbert, 2002) e de apresentarem estrutura similar, isto é, envolveram a produção de modelos seguidos por dois testes com dados que se relacionaram a aspectos envolvendo energia. Além disso, as duas estratégias de ensino foram aplicadas de forma similar pela professora. Por exemplo, em ambas houve maior ênfase no primeiro teste a ser realizado, quando as discordâncias quanto aos modelos eram bem mais frequentes. Acreditamos que isto contribuiu para reduzir a demanda por argumentos no segundo teste (vide comportamento do grupo 2 na Atividade 7 de ligações iônicas e do grupo 4 na Atividade 3 de interações intermoleculares). Ademais, a forma como os estudantes discutiram foi similar, por exemplo, utilizando argumentos de menor qualidade nas etapas de produção e expressão de modelos (provavelmente devido à pouca divergência de opiniões iniciais no grupo) e de maior qualidade nas etapas de teste e verificação das abrangências e limitações do modelo. Esses dados nos permitem afirmar que as diferentes etapas da modelagem favorecem a emergência de argumentos de diferentes níveis, pois nas etapas finais eles são de melhor qualidade. Considerando minhas experiências prévias de utilização do ensino fundamentado em modelagem no ensino médio, tenho evidências de que, na etapa de produção de modelos, os argumentos também poderiam ser de melhor qualidade em

⁶⁰ Reafirmamos que essa constatação se deu única e exclusivamente após a análise de cada uma das análises dos estudos de caso. Em outras palavras, inicialmente foram escritos os estudos de caso e a análise dos estudos de caso, sem preocupação com quaisquer padrões ou tendências.

função do favorecimento da discussão no grupo. Acreditamos que isto não aconteceu nesta turma pela ausência de conhecimentos prévios que possibilitassem a elaboração de mais modelos diferentes dentro dos grupos e, principalmente, pelo fato de os alunos não estarem acostumados a trabalhar apresentando e defendendo suas próprias ideias, ou seja, a modelagem era um tipo de atividade que não fazia parte da cultura escolar daqueles alunos.

Por outro lado, julgamos que a aplicação da estratégia de ensino de ligações iônicas tenha influenciado no raciocínio dos estudantes na estratégia de interações intermoleculares. Por exemplo, quando os grupos não tinham um conhecimento específico de ligações covalentes para argumentar, como evidenciado pela Atividade 1 (uso dos dados de temperatura de fusão em comparação a chama da lamparina pelo grupo 2) e Atividade 2 (raciocínios do grupo 2 com base na ligação iônica ao propor $MgCl_2$ e refutá-lo e do grupo 4 ao propor a ideia de rede para o grafite), os alunos lidaram com os dados e usaram conhecimentos sobre ligação iônica em analogia às interações intermoleculares. Destacamos que tal influência não foi observada na maneira como o grupo discutia, pois verificamos que na estratégia de interações intermoleculares também não foi frequente a discordância de ideias no grupo nas etapas de elaboração e expressão, e que as refutações foram mais frequentes por parte da professora e da pesquisadora.

Como comentado nos parágrafos anteriores, percebemos que em ambas estratégias houve raros momentos em que aconteceu refutação no próprio grupo devido às discordâncias entre os componentes, o que favoreceu a elaboração mais rápida de modelos consensuais do grupo. Julgamos que isso pode ter sido consequência da união de esforços do grupo na produção de um modelo e de argumentos associados a ele, visto que não percebemos um líder nos grupos que impunha suas ideias aos demais, e também do não costume deles em expor suas ideias e defendê-las. Assim, a falta de discordância nos grupos não implicou em perda da qualidade dos argumentos em função de como a modelagem foi estruturada (favorecendo a avaliação de modelos a partir dos dados e no momento das socializações) e do papel da professora e da pesquisadora na condição das atividades de modelagem (como comentado a seguir). Por outro lado, pensamos que se abordagens de ensino que favoreçam a argumentação, tais como a utilização de atividades de modelagem, forem utilizadas de forma intensiva no ensino, pode ser possível observar mais frequentemente a ocorrência de posições opostas fundamentadas e refutações aos modelos dos colegas de forma espontânea. Tal suposição se baseia em minha experiência prévia como professora, quando apliquei várias estratégias de ensino fundamentadas em

modelagem em uma mesma sala de aula. Ela também é coerente com o fato de a refutação espontânea integradora ser uma das habilidades mais complexas, como afirma Kuhn (1991). Portanto, ela requer contextos intensivos para seu desenvolvimento.

As refutações dos alunos a um modelo foram mediadas pela professora e/ou pela pesquisadora, o que consideramos coerente com os objetivos escolares, e das atividades de modelagem, de conduzir o pensamento para o modelo curricular. Assim, destacamos o papel de *antagonista* assumido por ambas com esse intuito. Quando a professora e/ou a pesquisadora tinham o objetivo de favorecer a convergência do pensamento dos alunos para um determinado modelo (mais coerente com o curricular), elas agiram também como *antagonistas* na discussão. Em todos os casos, as atitudes delas foram diferentes das atitudes de professores no ensino tradicional, pois não houve imposição de modelos (elaborados por quaisquer dos grupos, ou mesmo o modelo consensual da turma) sem avaliação do poder explicativo deles frente a dados (Jiménez-Aleixandre, 2010).

É importante também destacar a boa conduta das discussões por parte da professora e/ou da pesquisadora durante a *socialização* dos modelos nas Atividades 6 (ligações iônicas) e 2 (interações intermoleculares). Nessas ocasiões, elas criaram oportunidades de defesa e refutação de argumentos distintos, situações que conduziram ao ressurgimento de argumentos expressos anteriormente e à produção de novos. Isto nos levou a perceber compreensões adequadas dos grupos 2 e 4 sobre os temas discutidos naquelas atividades.

Ao analisar as duas estratégias, percebemos que *quando o segmento submicroscópico da matéria não era levado em consideração pelos alunos, não havia uso de justificativa teórica* (vide Atividade 3 de ligações iônicas e Atividade 1 de interações intermoleculares). Em outras palavras, quando o raciocínio dos alunos era mais focado em aspectos do nível macroscópico, as justificativas eram empíricas. Portanto, não houve impedimento quanto à argumentação na “ausência”⁶¹ dos conhecimentos teóricos, desde que existissem evidências disponíveis (disponibilizadas pelas atividades de modelagem) ou que essas fossem buscadas pelos indivíduos no contexto externo à modelagem (dado mobilizado) (vide argumentos analógicos da Atividade 3 de ligações iônicas).

⁶¹ Esse termo foi colocado entre aspas porque o grupo 2 (Atividade 1 de interações intermoleculares) tinha conhecimento do modelo de partículas, mas este não havia sido utilizado na justificativa (A₁₀). Este conhecimento foi utilizado em A₁₁ quando a professora solicitou que eles pensassem no nível submicroscópico.

Constatamos também que o nível dos argumentos científicos curriculares foi ampliado a partir do momento em que os estudantes adquiriam ou retomavam conhecimentos teóricos e estes eram utilizados para explicar as evidências experimentais (vide grupo 2 nas Atividades 3 e 4 de interações intermoleculares), isto é, quando ocorria a articulação teoria e evidência. Tal aspecto é desejável no contexto escolar quando se almeja que os estudantes aprendam ciência e sobre ciência (Jiménez-Aleixandre, 2010). Portanto, nossos dados indicam que o *conhecimento sobre o conteúdo influencia na argumentação científica curricular* (como destacado, por exemplo, em Cross et al., 2008; von Auschnaiter et al., 2008).

Os aspectos destacados nos dois últimos parágrafos sugerem que *a argumentação foi favorecida pela aprendizagem do conteúdo* (grupo 2 na Atividade 3 de interações intermoleculares, ao enfatizar que o iodo tinha que ser molecular para explicar as evidências) e que *a melhoria do raciocínio argumentativo conduziu a uma melhor aprendizagem* (grupo 4 na Atividade 2 de interações intermoleculares, quando Sara refletiu sobre a evidência e o modelo). Tais aspectos são coerentes com as ideias de Schwarz (2009) sobre o fato de não haver distanciamento entre as vertentes aprender a argumentar e argumentar para aprender e de que o distanciamento entre elas só faz sentido para fins de questões de pesquisa, não sendo coerente com o que ocorre em sala de aula.

Nas aulas das duas estratégias de ensino, percebemos que todas as etapas do diagrama Modelo de Modelagem – *elaboração e expressão do modelo*, para o grupo 4 na Atividade 2 de interações intermoleculares ao propor $MI.I_4G_4$ e para ambos os grupos 2 e 4 na Atividade 4 de interações intermoleculares); *condução de experimento mental e/ou testes empíricos*, para o grupo 2 na Atividade 6 de ligações iônicas na proposição de $ML.I_2G_2$ e *verificação de abrangências e limitações de um modelo*, para o grupo 2 na Atividade 6 de ligações iônicas ao ser questionado sobre o modelo molecular – favoreceram a articulação de modelos(s) e evidência(s). Cabe enfatizar que as duas últimas etapas destacadas influenciaram também no aparecimento de elementos retóricos (A_4G_4 , A_9G_4 , $A_{17}G_2$, $A_{19}G_2$) devido à ponderação das perspectivas alternativas. Na Atividade 7 de ligações iônicas, há outras evidências que demonstram a preocupação dos estudantes com o fator persuasão quando os grupos 2 e 4 falaram sobre a importância de um modelo ser compreendido pelos demais (Berland & Reiser, 2009).

Com relação ao uso de dados, não podemos concluir se a natureza dos mesmos (primário ou secundário) implica no uso adequado nos argumentos, mas tivemos evidências de que o *contexto* de aplicação e a *complexidade* dos mesmos trazem implicações para a produção de argumentos. Os dois grupos conseguiram refutar e produzir novos modelos e argumentos a partir do uso de dados primários e secundários envolvendo raciocínios similares. Por exemplo, na Atividade 6 de ligações iônicas, ambos os grupos (com o auxílio da professora e/ou da pesquisadora) conseguiram utilizar o dado de temperatura de fusão do NaCl (secundário) na refutação e produção de um modelo (grupo 2) ou na confirmação de um modelo (grupo 4). Na Atividade 2 de interações intermoleculares (com o auxílio da professora e/ou da pesquisadora), eles também conseguiram usar as evidências relativas ao aquecimento de iodo e grafite (dados primários) na refutação do modelo de interações interatômicas para o iodo e na elaboração de um modelo que demonstrava rompimento de interações intermoleculares no iodo. Julgamos que esses dados relativos à temperatura de fusão (primários ou secundários) foram devidamente utilizados pelos estudantes na produção ou refutação de um modelo tanto porque não eram complexos para eles quanto por causa do contexto (na Atividade 6 de ligações iônicas, a professora discutiu bastante com os grupos com o intuito de eles perceberem o que o modelo tinha que explicar em relação ao dado e nas Atividades 1 e 2 de interações intermoleculares o raciocínio foi retomado com mais facilidade pelos grupos, como evidenciado pelos argumentos produzidos pelo grupo 2 na Atividade 1).

Em contrapartida, os estudantes tiveram dificuldade de utilizar o dado secundário sobre a energia envolvida na formação do NaCl na Atividade 7 (resultando na não produção de argumentos pelo grupo 2) e as evidências primárias da Atividade 3 de interações intermoleculares (resultando na não produção de argumentos pelo grupo 4). Julgamos que isso possa ser devido à complexidade das relações relacionadas a essas evidências (como discutido nos estudos de caso). Também não descartamos a hipótese de que, naquelas ocasiões, não havia demanda retórica para produção de argumentos.

Ainda sobre o uso de dados, percebemos que em ambas as estratégias de ensino, os *dados anômalos foram importantes para reformulação de um modelo* (vide grupo 4 na Atividade 2, quando Sara refletiu sobre a incoerência do modelo frente à evidência experimental e grupo 2 na Atividade 6 de ligações iônicas, ao refletir sobre o gasto de energia na fusão a partir de $MgI_2 \cdot G_2$). Os dados anômalos também foram importantes para a *confirmação de um modelo*. Neste caso, percebemos que, em algumas situações, os

estudantes reinterpretaram o dado a seu favor (vide grupo 2 na Atividade 2 de interações intermoleculares, ao dizer que $MI.I_1G_2$ era coerente com o fato de iodo voltar ao estado sólido quando aquecido e grupo 4 ao afirmar que a representação C_2 justificava a temperatura de fusão do grafite). Entretanto, sempre que isso ocorria, a professora e/ou a pesquisadora propunham questões, retomavam evidências e conhecimentos de forma a refutar o modelo dos grupos com base nos dados. Em todos os casos, isto ocasionou resultados positivos quanto à reformulação central do modelo devido ao dado. Assim, nossos dados são coerentes com a defesa da importância da promoção da mudança conceitual por meio de dados anômalos⁶² (T. Kuhn, 1970; Posner et al., 1982). Ao mesmo tempo, eles se diferem daqueles encontrados por Chinn e Brewer (1998) quando analisaram dados de estudantes de graduação e verificaram que a maior parte da amostra não modificou centralmente suas teorias em virtude de dados anômalos a elas. Destacamos que o contexto de análise dos dados dessa tese é bem distinto do utilizado por Chinn e Brewer (1998), no qual os sujeitos (individualmente) tinham que apresentar uma teoria em que acreditavam, analisar um texto que tinha dados anômalos a essa teoria e, em seguida, propor uma escala de credibilidade para os dados, analisar a consistência deles em relação à teoria expressa anteriormente e identificar se houve alguma mudança na teoria em função dos dados. No primeiro caso, analisamos um contexto de produção de conhecimentos que era assessorado pela professora. Portanto, destacamos *a importância da professora saber como o estudante lida com um dado anômalo em relação a seu modelo para definir como buscar promover a mudança conceitual em sala de aula*. Nesse caso, a pesquisadora já havia comentado com a professora sobre modelos possíveis de serem expressos pelos estudantes em função das suas experiências anteriores de aplicação das estratégias de ensino e sobre aspectos importantes a serem levados em consideração na refutação dos mesmos.

O papel da professora nas duas estratégias demonstrou como era importante saber lidar com dados anômalos aos modelos e ter habilidades pedagógicas para conduzir as discussões relativas à discrepância entre modelo e dado. O papel da professora nos momentos de reformulação e rejeição de modelos em função dos dados anômalos é coerente com a recomendação de Chinn e Brewer a respeito dos professores planejarem suas ações em função de como estudantes lidam com dados anômalos para trabalhar em

⁶² Isto não significa que aceitamos a ideia de que dados anômalos são imprescindíveis para a ocorrência de aprendizagem.

sala de aula numa perspectiva de mudança conceitual (como a modelagem) (Clement, 2008b).

Destacamos que a não ocorrência de modelos antagônicos nas Atividades 7 (ligações iônicas) e 3 (interações intermoleculares) nos impediu de perceber em mais situações como estudantes lidavam com dados discrepantes em relação a seus modelos. Além disso, não percebemos a ocorrência de argumentos para defesa de modelos pelo grupo 2 na Atividade 7 e pelo grupo 4 na Atividade 3. Assim, podemos concluir que a *fase de testes favoreceu a produção de argumentos quando havia dúvidas sobre os modelos* (Jiménez-Aleixandre, 2010).

Ao comparar as estratégias de ensino, ressaltamos a importância dos *modos de representação concreto e gestual para facilitar a comunicação e a visualização* e, consequentemente, *a argumentação* (Erduran, 2008). Isto foi claramente observado na Atividade 5 de ligações iônicas, na qual foram elaborados argumentos com elementos teóricos (nível submicroscópico); e na Atividade 2 de interações intermoleculares, quando Igor demonstrou melhor entendimento de $MI.I_2G_2$ quando o mesmo foi manipulado concretamente, e quando, durante a socialização dos modelos, os estudantes mostraram gestualmente que o rompimento era das interações intermoleculares.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES

6.1. QUALIDADE DOS ARGUMENTOS NA MODELAGEM

Nesta seção discutimos as duas primeiras questões de pesquisa investigadas nesse trabalho, respectivamente: Qual a qualidade dos argumentos produzidos por estudantes de ensino médio ao participarem de atividades de modelagem? Existem diferenças na qualidade dos argumentos quando os estudantes participam de duas estratégias de ensino fundamentadas em modelagem? Em caso afirmativo, quais são elas?

As atividades de modelagem (fundamentadas no diagrama Modelo de Modelagem) favoreceram a expressão de argumentos científicos curriculares, como pode ser visualizado no gráfico 6.1, que apresenta o número de argumentos expressos pelos grupos 2 e 4 nas duas estratégias de ensino em função da qualidade dos mesmos.

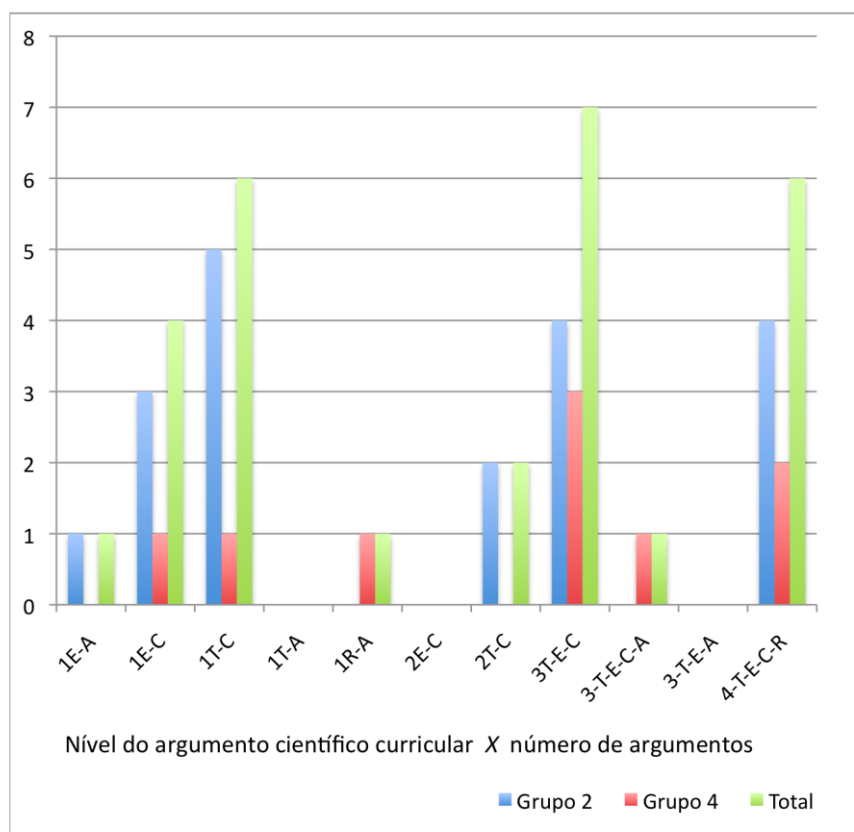


Gráfico 6.1. Qualidade dos argumentos produzidos pelos grupos 2 e 4 nas atividades de modelagem.

O gráfico 6.1 evidencia a produção de vinte e oito argumentos pelos grupos 2 e 4 nas oito atividades de modelagem. Desses, doze foram classificados como argumentos científicos curriculares de nível 1 (42,9% do total), dois como nível 2 (7,1% do total), oito como nível 3 (28,6% do total) e seis como nível 4 (21,4% do total). Consideramos que os argumentos de níveis 1 e 2 têm menor qualidade porque neles não há explicitação clara da relação entre dado e teoria. Por outro lado, os argumentos de níveis 3 e 4 apresentam maior qualidade devido à explicitação dessa relação e, às vezes, de expressões que indicam intenção de persuasão (nível 4). Assim, as duas estratégias possibilitaram a produção de quatorze argumentos de menor qualidade (50%) e quatorze argumentos de maior qualidade (50%). Julgamos que a distinção entre a qualidade dos argumentos devido à explicitação da relação entre dado e teoria seja coerente com o que é discutido na literatura (Duschl & Osborne, 2002; Jiménez-Aleixandre, 2010; D. Kuhn, 1993). Por exemplo, segundo a edição especial da revista *Alambique* sobre argumentação:

“As evidências não falam por si só. É a partir da argumentação que adquirem significado para compreensão e justificação de determinada teoria ou modelo.” (Caamaño, 2010, p.6)

Os gráficos 6.2 e 6.3 apresentam os argumentos produzidos pelos grupos 2 e 4 em função do nível dos mesmos para cada uma das estratégias de ensino.

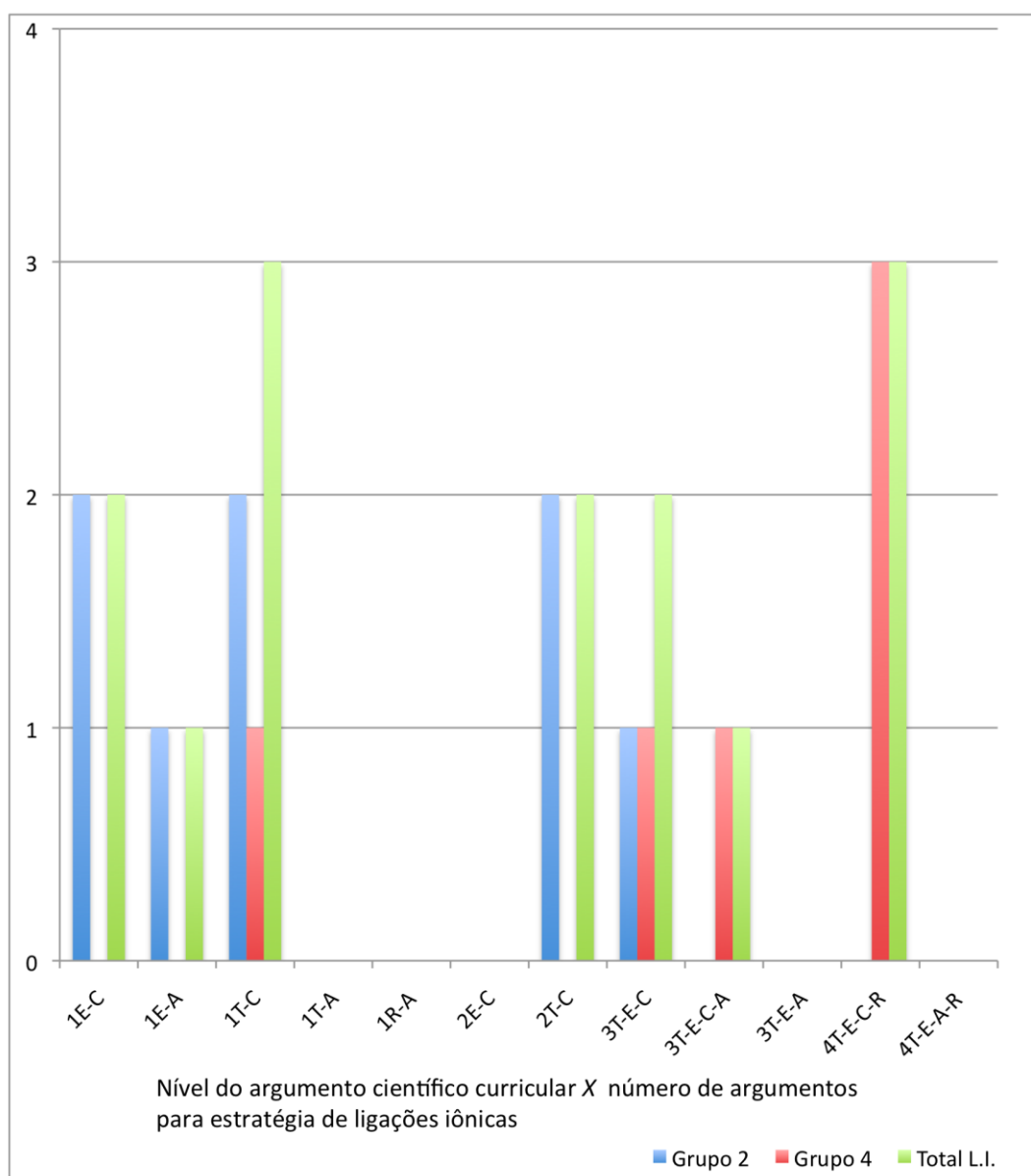


Gráfico 6.2. Nível do argumento para cada um dos argumentos produzidos pelos grupos 2 e 4 na estratégia de ligações iônicas.

Na estratégia de ligações iônicas, da qual quatro atividades foram analisadas, foram expressos quatorze argumentos, sendo que seis são de nível 1 (1 analógico e 5 causais), dois são de nível 2, três são de nível 3 (2 causais e 1 causal-analógico) e três são de nível 4.

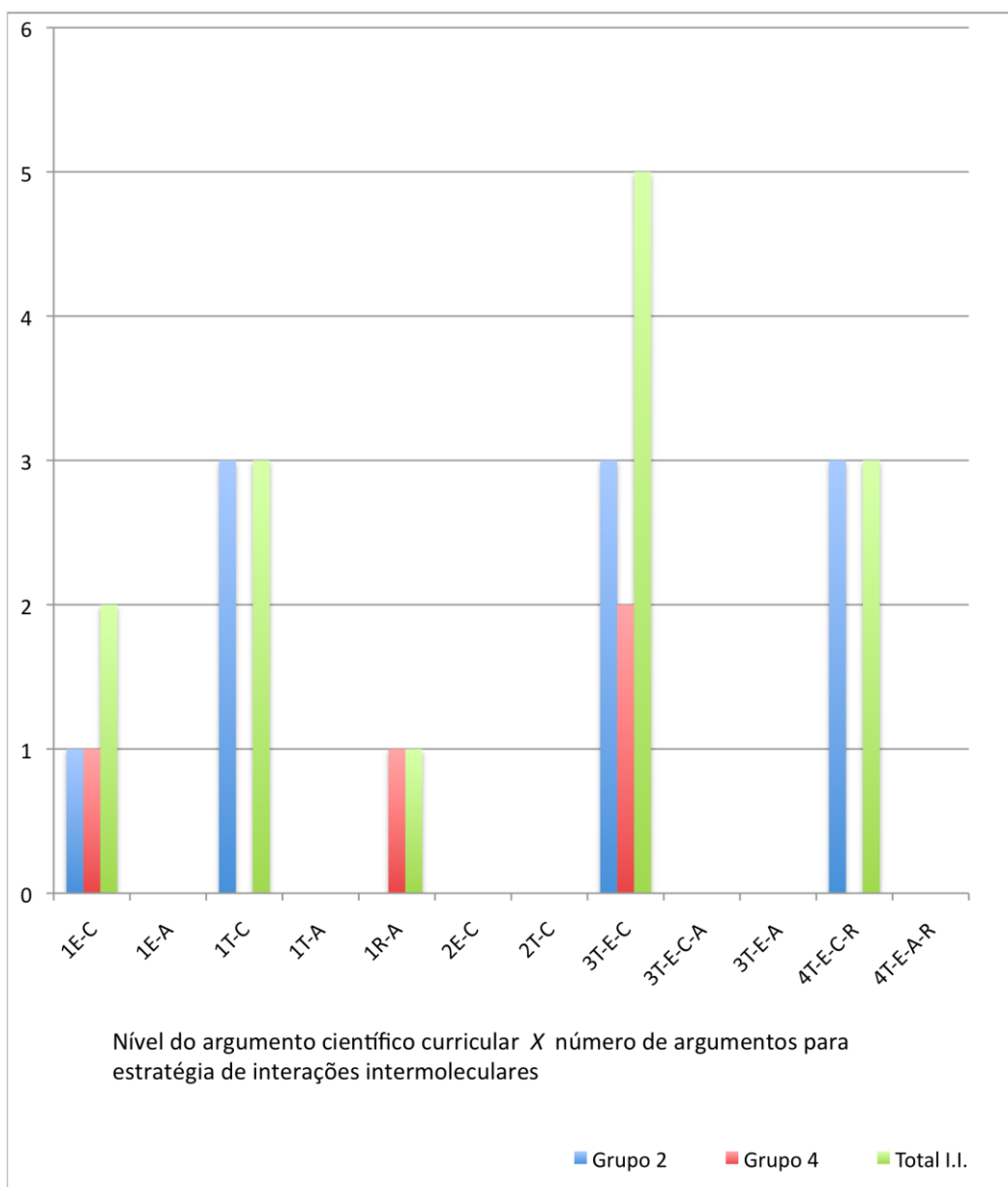


Gráfico 6.3. Nível do argumento para cada um dos argumentos produzidos na estratégia de interações intermoleculares.

Na estratégia de interações intermoleculares, da qual foram analisadas quatro atividades⁶³, foram igualmente expressos quatorze argumentos, sendo seis são de nível 1 (5 causais e 1 analógico), cinco são de nível 3 e três são de nível 4.

⁶³ É válido destacar que a coincidência quanto ao número de atividades analisadas em cada estratégia de ensino não foi intencional. Isto ocorreu em função do processo vivido em sala de aula, isto é, no

Identificamos oito argumentos (57%) de menor qualidade (níveis 1 e 2) e seis argumentos (43%) de maior qualidade (níveis 3 e 4) na estratégia de ligações iônicas. Por outro lado, na estratégia de interações intermoleculares, identificamos seis argumentos (43%) de menor qualidade (nível 1) e oito argumentos (57%) de maior qualidade (níveis 3 e 4).

Considerando os dados, é possível afirmar que a **participação em atividades de modelagem influenciou a expressão de argumentos de maior qualidade**. Isto ocorreu em dois níveis distintos. Inicialmente, como destacado no capítulo anterior, todas as etapas da modelagem vividas pelos estudantes ao longo das atividades favoreceram a expressão de argumentos que, em geral, foram de melhor qualidade nas etapas finais do processo, especialmente na etapa de testes.

Em segundo lugar, há um ligeiro aumento no número de argumentos de maior qualidade na estratégia de interações intermoleculares, o que pode ser consequência dos estilos de raciocínio e conhecimentos adquiridos na estratégia de ligações iônicas, isto é, constatamos **influências da estratégia de ligações iônicas na de interações intermoleculares** na produção de argumentos de maior qualidade. Por exemplo, na Atividade 1 de interações intermoleculares foi produzido um argumento de nível 3 pelo grupo 2 ($A_{11}G_2$), cuja origem foi atribuída ao raciocínio desenvolvido na Atividade 6 de ligações iônicas (vide estudo de caso para maiores detalhes). Além disso, na Atividade 2 de interações intermoleculares foi produzido um argumento de nível 3 pelo grupo 4 (A_8G_4) após os alunos terem aplicado a ideia de rede ao grafite, o que, para nós, foi consequência da elaboração prévia da ideia de rede para o NaCl associada à sua elevada temperatura de fusão. Também percebemos que a estratégia de ligações iônicas influenciou no surgimento de argumentos de menor qualidade nas discussões iniciais dos grupos 2 e 4 nas Atividades 1 e 2 (uso dos dados de temperatura de fusão em comparação à chama da lamparina pelo grupo 2 ($A_{10}G_2$); raciocínio do grupo 2 com base na ligação iônica ao propor $M/I_{-1}G_2$ e refutá-lo ($A_{12}G_2$); e elaboração de A_7G_4 ao analisar os dados da Atividade 1 de acordo com os conhecimentos da Atividade 6). Supomos que a participação na estratégia de ligações iônicas tenha favorecido o uso de elementos empíricos nos argumentos produzidos (A_7G_4 , $A_{10}G_2$) nas discussões iniciais também devido à ausência dos conhecimentos sobre ligação covalente.

qual não tivemos dados das Atividades 4 e 8 de ligações iônicas e da Atividade 5 de interações intermoleculares em virtude de como elas foram aplicadas naquela sala de aula.

Também constatamos que a modelagem **favoreceu a produção de argumentos nas duas estratégias de forma relativamente similar**, pois argumentos de menor qualidade foram mais recorrentes nas atividades relacionadas à produção e expressão de modelos (ver discussão do item 6.2 para mais detalhes) e argumentos de maior qualidade foram mais frequentes nas atividades relacionadas a teste e avaliação de modelos (ver discussão do item 6.2. para mais detalhes). Portanto, os dados demonstram que a **modelagem contribuiu para melhoria da argumentação científica curricular**. Creditamos que o modo relativamente similar de produção de argumentos nas duas estratégias seja devido ao fato de ambas terem sido fundamentadas no mesmo referencial teórico (Justi & Gilbert, 2002) e de apresentarem estrutura similar (produção de um modelo inicial seguida de dois testes envolvendo aspectos energéticos) e devido ao fato de terem sido aplicadas de forma similar pela professora. As discordâncias quanto aos modelos eram bem mais frequentes quando da realização do primeiro teste, o que reduziu a demanda de argumentos no segundo teste. Também destacamos o fato de os estudantes terem discutido nos grupos de forma similar em ambas estratégias, pois não foi usual o desacordo de ideias, isto é, não foram comuns modelos distintos num mesmo grupo e refutações espontâneas a esses modelos.

O gráfico 6.2 evidencia que, na estratégia para o ensino de ligação iônica, foram expressos nove argumentos pelo grupo 2 e cinco argumentos pelo grupo 4. Os grupos 2 e 4 tiveram participação similar nessa estratégia, isto é, ambos estavam comprometidos com a modelagem ('doing science') (como pode ser observado nos estudos de caso). Tal participação foi diferente apenas na Atividade 7, quando o grupo 2 não apresentou argumentos relativos à defesa de $ML.l_2G_2$ em relação às evidências. Acreditamos que isto ocorreu por não ter havido demanda retórica para expressão de argumento a favor de $M.L.l_2G_2$ (em função de o grupo ter percebido a validade do mesmo anteriormente, na Atividade 6), ou em função da não compreensão do dado secundário relativo às relações entre abaixamento de energia e estabilidade (como evidenciado no estudo de caso), ou, ainda, porque os alunos se desviaram do foco principal da atividade de modelagem, visto que estavam preocupados em demonstrar a existência de grãos de sal em $ML.l_2'G_2$.

Na atividade de interações intermoleculares, foram expressos dez argumentos pelo grupo 2 e quatro argumentos pelo grupo 4. Creditamos tal diferença ao distinto posicionamento assumido pelos dois grupos nas Atividades 1 e 3, quando o grupo 4 desviou o foco da atenção na modelagem ('doing science') para aspectos relacionados à cultura

escolar e da sala de aula ('doing the lesson' ou 'doing school') (como evidenciado pelo estudo de caso).

Pudemos constatar em ambas as estratégias que quando os dois grupos estavam envolvidos na modelagem ('doing science'), havia produção de argumentos e modelos, mesmo na ausência de conhecimentos prévios específicos (vide Atividade 2 de interações intermoleculares). As conclusões de que o engajamento ('doing science') ou não na modelagem (por exemplo, desvio para a parte procedimental do experimento, cópia de atividades etc. característicos de 'doing the lesson' ou 'doing school') influenciaram na produção de argumentos nos grupos está de acordo com a pesquisa conduzida por Jimenez-Aleixandre et al. (2000) (onde tais categorias de análise foram propostas) e com a pesquisa de Newton, Driver e Osborne (1999). Nesta última pesquisa, foram avaliadas as atividades (individual, em grupo, aberta, fechada etc.) e o tipo de interação entre alunos e aluno-professor (centrada no professor ou aluno, I-R-A etc.) em aulas de ciências de escolas inglesas. A análise dos dados evidenciou que a ausência de trabalhos abertos, atividades investigativas, discussões em grupo e com a professora de forma mais livre resultou em poucas oportunidades para argumentação devido a uma série de fatores gerais (limitação da visão de ciência do professor, tempo escasso, visão de aprendizagem do professor etc.) e outros claramente relacionados a 'doing the lesson' ou 'doing school' (copiar, fazer vários exercícios, escutar a explicação do professor).

Tanto na estratégia de ligações iônicas quanto na de interações intermoleculares pode não ter havido uma demanda retórica para produção de argumentos no segundo teste dos modelos (vide grupo 2 na Atividade 7 de ligações iônicas e grupo 4 na Atividade 3 de interações intermoleculares). Isso nos remete à pesquisa de Berland e Reiser (2009), que evidenciou que estudantes não estavam atentos ao critério persuasão em seus argumentos. Segundo esses autores, isto pode ter sido consequência da falta de conhecimentos dos estudantes quanto à natureza social da ciência, isto é, ao desconhecimento de que a construção de conhecimentos é um processo feito por pares, no qual ideias devem ser debatidas e defendidas na busca de um consenso. Ainda segundo esses autores, o professor e as estratégias de ensino devem favorecer essa consciência sobre a natureza dos conhecimentos. No nosso caso, julgamos que o fato de ter havido consenso dos modelos já no primeiro teste tenha influenciado na elaboração dos argumentos, em concordância com as afirmativas de Duschl e Osborne (2002) e Jiménez-Aleixandre (2010) sobre a ocorrência de argumentação ao se avaliar um modelo não consensual frente a provas e evidências.

Julgamos que o professor pode favorecer a elaboração de argumentos se discutir com os estudantes sobre os fatos de (i) um bom modelo (e, conseqüentemente, seus argumentos de defesa) serem usados para explicar o maior número possível de evidências, e (ii) um modelo insatisfatório não poder ser usado para explicar as evidências, em concordância com as ideias de Berland e Reiser (2009). Nas situações analisadas nesta tese, percebemos que, na discussão final da Atividade 7 de ligações iônicas e das Atividades 2 e 3 de interações intermoleculares, a professora e a pesquisadora tentaram deixar claro a importância dos testes para a credibilidade de um modelo. Mas acreditamos isso deve ocorrer mais frequentemente no ensino para que os estudantes adquiram uma visão mais ampla sobre natureza da ciência, o que poderia influenciar na elaboração e uso de argumentos (Sandoval & Millwood, 2008) que tenham como objetivo persuadir um público alvo.

Por outro lado, também tivemos indícios de que a modelagem favoreceu a preocupação dos estudantes quanto ao uso de elementos retóricos. Os principais foram os fatos de os grupos terem afirmado a necessidade de o modelo ser compreensível aos demais na Atividade 7 de ligações iônicas (ver estudos de caso) e de terem elaborado argumentos de nível 4 (ver discussão da terceira questão de pesquisa para maior clareza sobre esse aspecto).

Apesar do favorecimento à produção de argumentos pela modelagem, julgamos que alguns padrões de interação do tipo I-R-A utilizados pela professora podem ter comprometido a produção de mais argumentos, como evidenciado pela literatura (por exemplo, Berland & Reiser, 2009; Newton et al., 1999; Simon, Erduran, & Osborne, 2006; Zohar, 2008). Nossa afirmativa se baseia na observação de argumentos de “defesa” e “ataque” de modelos nas Atividades 6 de ligações iônicas e 2 e 3 de interações intermoleculares (quando os estudantes estavam discutindo sobre um tipo de modelo frente aos dados) e do não surgimento destes na Atividade 5 de ligações iônicas (quando não foi solicitado que cada aluno defendesse seu modelo perante a turma). Considerando nossas experiências anteriores de aplicação dessas estratégias de ensino, também pensamos que seria possível o aparecimento de argumentação na socialização dos modelos da Atividade 5 de ligações iônicas, isto é, quando os alunos fossem solicitados a defender seus modelos publicamente. Vale ressaltar que em nossas experiências prévias, os alunos tinham sido solicitados, nesta Atividade, a defender seus modelos e que nelas as situações de ensino eram bem diferentes da que é analisada nesta tese em função de maior número de

aulas de química; maior costume dos estudantes em participar de atividades investigativas; e maior experiência da professora na condução de atividades de modelagem.

Não descartamos também a hipótese de que houve favorecimento da argumentação nas Atividades 6 de ligações iônicas, 2 e 3 de interações intermoleculares devido à natureza das mesmas, centradas em teste de modelos (Driver et al., 2000; Duschl & Osborne, 2002; Jiménez-Aleixandre & Puig Mauriz, 2010). Por outro lado, nessas atividades percebemos como foi importante a boa conduta da discussão por parte da professora e/ou da pesquisadora no sentido de terem favorecido a ocorrência de oportunidades para que os alunos que defendiam ou atacavam um determinado modelo expressassem suas justificativas. Entretanto, temos consciência de que, no contexto aqui analisado, a professora tinha limitações quanto ao tempo de condução das atividades de modelagem (a condução do fechamento de forma I-R-A resultou na diminuição do tempo de aplicação da estratégia de ensino e atendia aos objetivos de conduzir a um modelo mais próximo do curricular). Apesar disso, ela discutiu as ideias dos estudantes de forma exemplar, levando-as em consideração e respeitando-as ao propor questões com o intuito de levá-los a refutar um modelo (ver refutação à $MI.I_3G_4$), dar dicas, e retomar ou ampliar conceitos com o intuito de favorecer a construção de um modelo (ver discussão com o grupo 4 na Atividade 2 de interações intermoleculares ao retomar os conceitos de ligação covalente). Segundo indicam os estudos de caso, tais ações favoreceram a produção de modelos e argumentos.

Como comentando no parágrafo anterior, a condução das discussões pela professora durante a socialização dos modelos que estavam sendo avaliados (vide Atividade 6 de ligações iônicas e Atividades 2 e 3 de interações intermoleculares) foi bastante importante para que ambos os tipos de posicionamento (a favor ou contra um modelo) fossem devidamente justificados, isto é, que não houvesse avanço dos pontos de vista em virtude de determinado modelo. Enfatizamos que simplificações das regras de conduta para discussão crítica propostas por van Eemeren et al. (1996) para uma situação de ensino são importantes para favorecer a argumentação social, como o impedimento do avanço de um ponto de vista (apresentado nos estudos de caso no momento em que foram socializados os modelos na Atividade 6 de ligações iônicas, quando os grupos 2 e 4 tinham posições contrárias ao grupo 3, e na discussão das Atividades 2 e 3 de interações intermoleculares, quando os grupos 2 e 4 defenderam a posição de que no iodo havia rompimento de interações intermoleculares e o grupo 3 não demonstrava certeza sobre esse aspecto). Em

ambos os casos, a professora possibilitou que alunos de todos os grupos expusessem suas ideias e as justificassem.

Na literatura há relatos de pesquisas que evidenciam a dificuldade dos estudantes na produção de argumentos e na expressão de argumentos de elevada qualidade (por exemplo, Jiménez-Aleixandre et al., 2000; Osborne et al., 2004a; Solbes et al., 2010). Nesses trabalhos, os autores salientaram que não é apenas em situações isoladas que os estudantes desenvolvem habilidades argumentativas. Pelo contrário, tais autores destacam que é necessário desenvolver atividades que promovam a argumentação de forma intensiva para que os estudantes possam ser encorajados na reflexão sobre o próprio aprendizado. Isto pode conduzir a mudanças de ideias em função da análise de evidências, sendo o apoio do professor essencial nesse processo. Por outro lado, há relatos de pesquisa que evidenciam que há produção de argumentos e que há aumento da qualidade destes: (i) quando se adota uma perspectiva de aprendizagem de ciência como uma investigação; (ii) quando o professor ensina explicitamente ao estudante sobre como argumentar cientificamente e conduz a discussão com a turma de forma coerente a essa postura (por exemplo, Venville & Vaille, 2010; Zohar & Nemet, 2002); (iii) ou devido a características das estratégias de ensino e aos tipos de questões suscitadas pela estratégia e/ou pelo professor (Chin & Osborne, 2010; Tavares et al., 2010).

Considerando todos os aspectos discutidos até então relativos à influência da participação em atividades de modelagem na argumentação dos estudantes, nossa pesquisa se enquadra melhor naquelas em que **há favorecimento da expressão e do aumento da qualidade dos argumentos dos estudantes**. Nas atividades de modelagem, os estudantes propuseram argumentos a partir da demanda solicitada pelas atividades e pela professora, isto é, na justificativa, defesa, refutação e verificação das abrangências e limitações de um modelo. Assim, a produção de argumentos no ensino fundamentado em modelagem esteve mais relacionada ao tipo de atividade e à cultura da sala de aula. Se numa classe os conhecimentos são apresentados prontos ao aluno, não há oportunidade para argumentação, pois há apenas uma resposta aceitável. Se por outro lado, as práticas propõem a avaliação de ideias à luz de provas, a seleção e a interpretação de dados, a proposição de modelos e explicações, será bem provável o favorecimento da argumentação (Jiménez-Aleixandre, 2008; Jiménez-Aleixandre, 2010; Osborne & Patterson, 2011), como evidenciado pelos nossos resultados.

Por outro lado, durante as atividades de modelagem, a professora não apresentou uma definição formal para argumento e não distinguiu os seus componentes explicitamente. Os estudos de caso evidenciam que nem sempre o significado de ‘evidência’ era claro para os estudantes. Por isso acreditamos que apresentar e distinguir os componentes do argumento em várias situações, isto é, promover um ensino mais explicitamente dirigido à argumentação, deve favorecer a melhoria da qualidade dos argumentos.

6.2. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O INSTRUMENTO DE ANÁLISE DA QUALIDADE DOS ARGUMENTOS

A partir dos aspectos discutidos anteriormente, consideramos que, para avaliar a qualidade de um argumento não é necessário pensar apenas nas características da sala de aula e da estratégia de ensino, mas em se o instrumento de análise foi sensível ao exame do nível dos argumentos (Simonneaux, 2008). Segundo Erduran (2008), um dos desafios do campo da argumentação no Ensino de Ciências está relacionado às opções metodológicas para análise dos argumentos. Alguns autores recomendam o uso e a criação de instrumentos que sejam mais adequados ao tipo de investigação realizada (Duschl, 2008; Kelly et al., 1998; Sampson & Clark, 2008). Nesse sentido, há aqueles que recomendam a utilização do padrão de Toulmin como instrumento de análise na investigação de determinadas questões de pesquisa (por exemplo, análise dos principais elementos do argumento) (Erduran, 2008; Jiménez-Aleixandre & Pereiro Muñoz, 2002; Nascimento & Vieira, 2008; Simon et al., 2006) e aqueles que salientam problemas quanto ao uso do mesmo (como especificado a seguir) (Abi-El-Mona & Abd-El-Khalick, 2011; Duschl, 2008; Kelly et al., 1998; Zohar & Nemet, 2002).

Entre os que salientam as desvantagens do padrão de Toulmin, há alguns (Duschl, 2008; Kelly et al., 1998) que sugerem que o mesmo é problemático na diferenciação de dados, garantia, apoio em sentenças que não sejam curtas e que isto causa ambiguidade. Outros (Sampson & Clark, 2008; Venville & Vaille, 2010) enfatizam que um argumento pode ter boa qualidade segundo o padrão de Toulmin devido à presença dos seus elementos, mas que ele pode ser pobre em termos de conhecimentos científicos. Tais visões conduziram à proposição de instrumentos de análise baseados no padrão de Toulmin com o intuito de diminuir os problemas detectados ou ampliar o próprio padrão (Osborne et al., 2004a; Zohar & Nemet, 2002) (como comentado no capítulo 2).

Por outro lado, há aqueles mais radicais (Abi-El-Mona & Abd-El-Khalick, 2011) que defendem a não utilização do padrão de Toulmin para análise de argumentos no contexto da ciência. Na pesquisa destes autores, a partir da utilização do padrão de Toulmin, os argumentos produzidos por cientistas não foram classificados como sendo de elevada qualidade, principalmente, porque não houve ênfase no qualificador e na refutação. Portanto, segundo os autores, a ênfase no descrédito de um ponto de vista, isto é, na contra-argumentação e na refutação (assim como D. Kuhn, 1991; Osborne et al., 2004a o fazem) não é coerente:

“quando se pensa na ciência cognitiva, que demonstra que as pessoas tendem a se focar e apresentar aspectos que suportam seus pontos de vista, ao invés de desacreditar pontos de vista contrários” (Abi-El-Mona & Abd-El-Khalick, 2011, p. 27).

Nesse sentido, o fato de os argumentos analisados por Osborne et al. (2004) não terem apresentado elevada qualidade pode ser justificado pela ênfase atribuída à presença da refutação no trabalho desses autores. Em síntese, julgamos importante o desenvolvimento da refutação por parte dos estudantes, mas não pensamos que o foco do instrumento de análise de nível de argumento deva ser esse em processos de construção de conhecimento em sala de aula, como o favorecido pelas atividades de modelagem.

Outro aspecto importante de ser levado em consideração na análise de argumentos é o contexto, isto é, se a análise será focada no argumento enquanto produto ou processo (Duschl & Osborne, 2002; Silva, 2010; Wenzel, 1990). O uso de instrumentos que sejam mais focados no argumento enquanto produto podem ser incoerentes na análise de dados de sala de aula relativos à construção de conhecimentos em grupos colaborativos por desconsiderar o contexto e a dinâmica de produção do argumento (Duschl, 2008; Mendonça, Figueirêdo, & Justi, 2010).

Toda essa discussão a respeito das controvérsias das pesquisas que discutem sobre a qualidade de argumentos, o padrão de Toulmin, e a análise do argumento enquanto produto ou processo mostra que para avaliar a qualidade do argumento é necessário pensar nas características da estratégia de ensino e da sala de aula (por exemplo, os aspectos discutidos em Jiménez-Aleixandre, 2008), bem como no instrumento usado para acessar a qualidade dos mesmos. Nesta tese, julgamos que conseguimos propor um instrumento para análise de argumentos que foi sensível às características da estratégia de ensino.

Sobre o instrumento criado e usado nesta tese, inicialmente, destacamos que a proposição da ideia de argumento científico curricular como uma simplificação do argumento científico foi válida, pois, apesar de o mais desejável em um argumento ser a explicitação de uma conexão entre evidência e teoria ou modelo, não seria coerente descartar o argumento no qual o estudante usa algum dado (fornecido pela atividade de modelagem ou não) para argumentar quando ele está inserido no processo de construção do conhecimento. Também não acreditamos que seria coerente descartar um argumento que contivesse apenas conhecimento de ordem teórica como justificativa, porque o estudante poderia não ter dados fornecidos pela situação de ensino para respaldar o argumento, caso ele não os buscasse em sua estrutura prévia de conhecimentos. Isto foi observado, por exemplo, na Atividade 5 de ligações iônicas, quando os alunos dos dois grupos propuseram um modelo inicial para o NaCl a partir de conhecimentos sobre a Lei de Coulomb, mas sem estabelecer qualquer relação explícita com alguma propriedade física do NaCl.

Cabe ressaltar que a elaboração de argumentos de níveis 1 e 2, considerados de menor nível de qualidade, demonstrou que o estudante foi capaz de emitir uma justificativa e não uma mera opinião. Isto é diferente, por exemplo, do que foi demonstrado através do instrumento proposto por Osborne et al. (2004), no qual foram considerados argumentos de nível 1 aqueles que eram baseados apenas em conclusões. Assim, concordamos com Zohar e Nemet (2002) sobre o fato de que para ser considerado um argumento é necessário o suporte de uma justificativa, ou seja, um argumento não é um mero ponto de vista. Julgamos que a solicitação de pelo menos um tipo de justificativa (empírica ou teórica) é algo importante quando almejamos o desenvolvimento da argumentação científica no contexto escolar e que ela favorece o raciocínio argumentativo do aluno.

Por outro lado, discordamos de Zohar e Nemet (2002) quanto ao fato de elas considerarem como justificativa válida apenas aquelas que sustentam a conclusão adequadamente de acordo com o ponto de vista científico atual. Por exemplo, na Atividade 2 de interações intermoleculares, consideramos coerente um argumento que explicasse o ocorrido com o iodo quando aquecido com base na ideia de rompimento de interação interatômica. Essa justificativa é incoerente quando se conhece o conceito científico que explica o ocorrido, mas foi considerada plausível num processo de construção de conhecimento, isto é, num determinado momento fazia sentido pensar que a ligação química poderia ter sido rompida devido à fusão em função das evidências experimentais.

Consideramos que nossa opção se difere da escolhida pelas referidas autoras porque, na pesquisa delas, os conhecimentos básicos necessários para argumentar sobre os problemas de genética já tinham sido desenvolvidos com os alunos. No nosso caso, sempre que o conhecimento estava em processo de construção e avaliação, julgamos como coerente aquelas justificativas que demonstravam certa plausibilidade no contexto. Entretanto, quando já tinha ficado claro, por exemplo, que não havia rompimento de interação interatômica no iodo (Atividade 2), justificativas deste tipo não foram mais classificadas como plausíveis (na Atividade 3). Portanto, destacamos a importância de avaliar os argumentos à luz do contexto de produção dos mesmos e que essa escolha foi coerente com a proposta de ensino por modelagem. Isto está de acordo com o trabalho de Bottcher e Meisert (2010), no qual eles afirmaram que novatos possuem ideias mais ingênuas sobre alguns modelos e que eles adquirem melhor esclarecimento dos mesmos a partir da argumentação envolvida na modelagem. Assim, consideramos que a avaliação dos argumentos deve ser relativa à plausibilidade de um modelo em um contexto.

Também buscamos ser coerentes com as indicações da literatura sobre critérios para julgamento de argumentos. Por exemplo, Duschl e Osborne, recomendam a escolha de critérios “como parsimônia, compreensão e coerência para julgar se um argumento é melhor do que outro” (Duschl & Osborne, 2002, p. 54). Acreditamos que nosso instrumento tenha sido coerente por avaliar o argumento no contexto em função das evidências relativas à produção de argumentos de menor qualidade no início do processo de modelagem e argumentos de maior qualidade como resultado da condução de testes (principalmente experimentos mentais) e verificação de abrangências e limitações de um modelo (ver discussão da terceira questão de pesquisa para maior clareza).

Nosso instrumento foi criado a partir da suposição de categorias de tipologias de argumentos com base nas ideias disponíveis na literatura – sobre argumentação especificamente ou sobre a produção de conhecimentos na ciência (Berland & Reiser, 2009; Clement, 2008a; Sandoval & Millwood, 2008; Walton, 1996) – e também a partir de exemplos de argumentos que surgiram em aplicações anteriores das estratégias quando eu era professora do ensino médio (Mendonça & Justi, 2009a, 2009b; Mendonça & Justi, 2011). Ao analisar os dados da tese, percebemos (como evidenciado no gráfico 6.1) que não foram produzidos argumentos para as categorias 1.T-A, 2.E-C, 3.T-E-A e 4.T-E-C-A. Apesar disso, julgamos que a produção de argumentos dessas naturezas é possível em situações de ensino fundamentadas em modelagem. Por isso, defendemos que essas categorias sejam mantidas

no instrumento de análise de argumentos científicos curriculares em contextos de modelagem.

Julgamos também que os argumentos analógicos podem ter ocorrido em menor número do que os causais em função da natureza das questões das atividades, que solicitavam justificativas causais. Entretanto, no trabalho de Correa, Mozzer e Justi (2010) há indícios de que argumentos analógicos são bastante plausíveis de ocorrer em atividades de modelagem. Neste trabalho, os autores constataram a viabilidade de utilizar o esquema de analogia de Walton e as questões críticas a ele associadas (Walton, 1996) na análise de argumentos analógicos em atividades de modelagem. A partir desse trabalho, percebemos que para que os estudantes expressem alguma limitação da relação analógica, o que consideramos ser um elemento retórico no argumento do tipo 4.T-E-A-R, é importante o uso de questões críticas por parte do professor. No trabalho desses autores, também se solicitava aos estudantes envolvidos na modelagem (para o tema dissolução) a proposição de analogias para explicar a dissolução, ou seja, o tipo de questão envolvida na modelagem favorecia o surgimento do argumento analógico causal. Assim, os argumentos analógicos podem ter sido menos frequentes em nosso trabalho também devido ao fato de esse tipo de solicitação, assim como o uso das questões críticas para argumento analógico não terem sido previamente planejados nas atividades de modelagem de ligações iônicas e interações intermoleculares.

Finalmente, considerando os resultados das aplicações anteriores dessas estratégias de ensino, também julgamos ser possível o aparecimento de argumento 2.E-C, como pode ser visto no exemplo selecionado no item 4.2.3..

6.3. RELAÇÃO DOS ARGUMENTOS COM O DIAGRAMA MODELO DE MODELAGEM

Nesta seção, discutiremos a terceira questão de pesquisa investigada nesse trabalho: Quais são as relações entre atividades de modelagem baseadas no diagrama Modelo de Modelagem e os argumentos dos estudantes?

Para subsidiar tal discussão e favorecer a visualização das relações estabelecidas entre o diagrama e os argumentos elaborados pelos alunos, construímos o gráfico 6.4. Ele expressa a relação de cada uma das etapas do diagrama Modelo de Modelagem com o nível dos argumentos. Inicialmente destacamos que não relacionamos os argumentos que

surgiram na Atividade 3 de ligações iônicas porque ela teve o intuito de fundamentar experiências com o alvo para as atividades posteriores (Atividades 5 e 7 de ligações iônicas), isto é, não se relacionou diretamente à elaboração do modelo de ligação iônica.

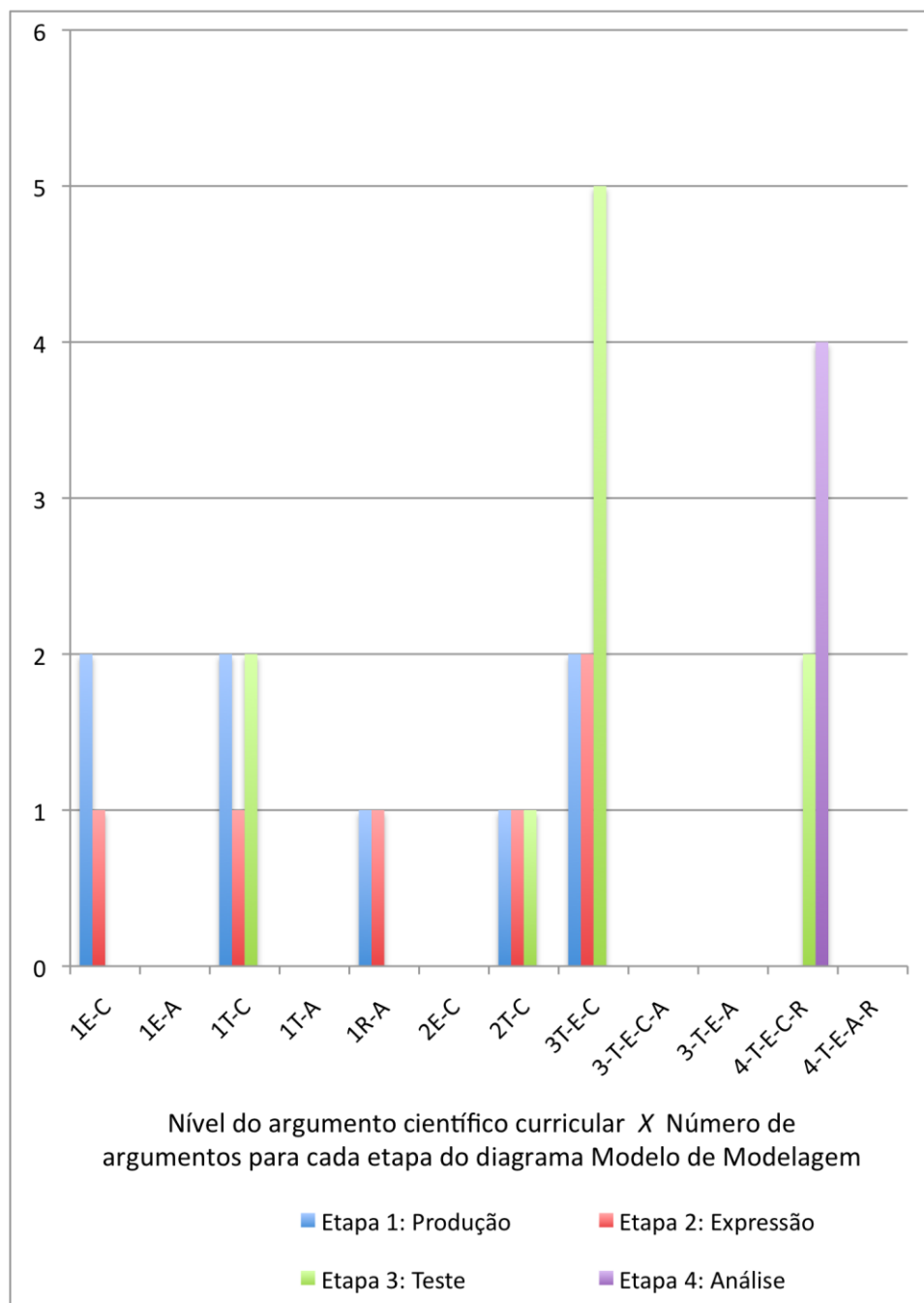


Gráfico 6.4. Relação do nível dos argumentos científicos curriculares com cada etapa do diagrama Modelo de Modelagem.

A etapa 1 – *produção de modelo mental* (definir os objetivos, ter experiências com o alvo, selecionar a origem para o modelo e produzir modelo mental) – influenciou na produção de oito argumentos (A_4G_2 , A_5G_2 , A_2G_4 , $A_{10}G_2$, $A_{11}G_2$, $A_{12}G_2$, A_6G_4 , A_7G_4). Esta etapa apareceu relacionada à 2 (*expressar em alguns dos modos de representação*) na maioria dos argumentos (com exceção de $A_{10}G_2$ e $A_{12}G_2$). Nestas etapas preponderaram argumentos de menor qualidade (A_4G_2 , A_5G_2 , $A_{10}G_2$, $A_{12}G_2$, A_6G_4 , A_7G_4). Como nessas etapas os conceitos estavam sendo construídos, os estudantes utilizaram evidências empíricas disponibilizadas pelas atividades nos argumentos ($A_{10}G_2$, A_7G_4), analogia quanto à representação (A_6G_4) ou conceitos desenvolvidas na estratégia de ligações iônicas aplicado à interações intermoleculares ($A_{11}G_2$, $A_{12}G_2$). Em outras palavras, os argumentos são de menor qualidade porque os estudantes estavam adquirindo elementos para melhor compreensão conceitual ou para a elaboração e defesa dos modelos consensuais do grupo.

A expressão dos modelos ocorreu, na maior parte das vezes, a partir dos materiais concretos disponibilizados aos estudantes. Percebemos que a manipulação deles favoreceu as discussões nos grupos, pois as ideias fundamentais expressas nos modelos eram retomadas e a discussão da coerência ou não delas em relação ao dado se dava através da manipulação dos materiais concretos. Julgamos que isto favoreceu a argumentação devido à visualização e compreensão do que ocorre com as partículas em nível submicroscópico, o que acarretou no incremento de elementos teóricos nos argumentos científicos curriculares. Assim, concordamos com Erduran (2008) sobre a influência dos aspectos não verbais na expressão dos argumentos.

A etapa 3 do diagrama Modelo de Modelagem (que pode ocorrer a partir da *condução de experimentos mentais e/ou do planejamento e condução de testes empíricos*) influenciou a produção de dez argumentos. Três deles são de menor qualidade: dois de nível 1 (A_6G_2 , A_3G_4) e um de nível 2 (A_7G_2). Os outros sete argumentos são de maior qualidade: cinco de nível 3 (A_8G_2 , $A_{15}G_2$, A_8G_4 , $A_{18}G_2$, A_9G_4) e dois de nível 4 ($A_{16}G_2$, $A_{17}G_2$).

À esta etapa estão associados vários argumentos de elevada qualidade, mesmo com a baixa demanda retórica para o segundo teste envolvido em ambas estratégias. Entretanto, quando o segundo teste foi devidamente interpretado pelo grupo, houve produção de argumentos de qualidade (um de nível 4, na Atividade 7 pelo grupo 4, e um de nível 4, na Atividade 3 pelo grupo 2), o que indica que os testes realmente deram suporte à produção de argumentos em defesa de um modelo. Isto também corrobora a afirmativa de que a

avaliação de conhecimento a partir de dados e evidências é primordial para argumentação (Duschl & Osborne, 2002; Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008; Jiménez-Aleixandre & Puig Mauriz, 2010).

Os testes de um modelo conduziram à verificação de sua adequação ao objetivo definido, o que resultou na modificação ou rejeição do mesmo. Nesta etapa, o “ataque” e a “defesa” de modelos através de argumentação racional (favorecido pelas Atividades 6 e 7 de ligações iônicas e 2 e 3 de interações intermoleculares) foi muito importante para a melhoria da qualidade da argumentação científica escolar e para a melhor compreensão dos modelos curriculares (o que pode ser evidenciado pelos argumentos de nível 4 e modelos em rede e demonstrando rompimento de interações intermoleculares ao final dessas Atividades).

A melhoria da aprendizagem pode ser explicada a partir das ideias de Kuhn (1991). Para a autora, o melhor entendimento passa pela compreensão daquilo que não é, isto é, pela análise de perspectivas alternativas. Portanto, podemos concluir, a partir da elaboração de argumentos de qualidade elevada e dos modelos a eles associados, que a vertente aprender a argumentar acarretou implicações para a vertente argumentar para aprender (Cross et al., 2008; Riemeier et al., 2010; Schwarz, 2009).

A etapa 4 do diagrama Modelo de Modelagem (*verificação de abrangências e limitações de um modelo*) influenciou na produção de quatro argumentos de elevada qualidade (nível 4): A_9G_2 , A_4G_4 , A_5G_4 e $A_{19}G_2$.

Julgamos que a produção de argumentos de elevada qualidade nas atividades relativas à esta etapa é coerente, pois, quando as mesmas ocorreram, a maioria dos alunos já tinha convicção de que seu modelo satisfazia os objetivos anteriormente definidos. Assim, ele já dispunham de elementos para elaborar argumentos mais complexos e, em alguns casos, também utilizaram seus argumentos para tentar evidenciar aos colegas de outros grupos a validade de seus próprios modelos (como discutido a seguir).

O surgimento de argumentos de nível 4, associados às etapas 3 (teste do modelo) e 4 (avaliação do modelo) indica que a fundamentação de atividades de modelagem no diagrama Modelo de Modelagem favoreceu o aparecimento do fator persuasão. Este fator foi considerado extremamente importante por Berland e Reiser (2009) em função de evidenciar uma melhor compreensão do conhecimento científico como construto humano que é válido em função do poder explicativo e preditivo do mesmo. Segundo esses autores,

a escola tradicional não tem encorajado os estudantes a produzir argumentos de forma a defender um ponto de vista entre os demais. Considerando nossos resultados, podemos dizer que as atividades de modelagem fundamentadas no diagrama Modelo de Modelagem cumpriram esse papel. Ao afirmar tal conclusão, não descartamos a importância do papel da professora para essa ocorrência (como será comentando na discussão da quarta questão de pesquisa).

6.4. INFLUÊNCIAS DA MODELAGEM NA ARGUMENTAÇÃO

Nesta seção discutiremos a quarta questão de pesquisa investigada nesta pesquisa: Como atividades de ensino fundamentadas em modelagem podem favorecer o desenvolvimento da argumentação dos estudantes?

Inicialmente, discutimos como a modelagem influenciou na argumentação a partir do papel atribuído ao aluno nesse tipo de ensino. Destacamos o papel esperado para o aluno em contextos que visam argumentação: “produtores ativos de conclusões devidamente justificadas e críticos eficientes das conclusões propostas por outros” (Jiménez-Aleixandre, 2008, p. 98).

Julgamos que a modelagem tenha favorecido esse papel do aluno (pelo menos daqueles que estavam concentrados nas atividades – ‘doing science’ – como evidenciado nos estudos de caso), por ser um tipo de atividade em que a construção do conhecimento ocorre de forma colaborativa. Na construção dos conhecimentos no grupo, foi frequente a justificativa para “defesa” e “ataque” de um modelo, em função das constantes solicitações das atividades e/ou da professora e da pesquisadora. Os experimentos foram precedidos de previsões e de explicações para as convergências ou divergências das mesmas com as evidências. Outras vezes, eles foram usados para o teste dos modelos com o intuito de favorecer a reflexão dos alunos sobre a extensão em que seus modelos atingiam os objetivos propostos para os mesmos.

A crítica aos modelos pelos pares foi mais frequente durante os testes dos modelos quando estes eram socializados na turma, pois nos grupos analisados havia consenso quanto aos modelos. Isto corrobora alguns resultados de Tavares et al. (2010) sobre a produção de argumentos de qualidade mesmo quando não havia divergência de pontos de vista no grupo. Por outro lado, a socialização de modelos distintos com possibilidades de escrutínio aos mesmos favoreceu a postura crítica dos estudantes quanto à elaboração e expressão de

justificativas para os modelos que eles defendiam e refutavam. Assim julgamos que a modelagem também tenha favorecido a argumentação devido à ocorrência de aprendizagem social (discussões, questões e avaliações foram frequentes, assim como esforços cooperativos envolvidos na construção dos argumentos e modelos nos grupos, como evidenciado nos estudos de caso) (Jiménez-Aleixandre, 2008).

Para que as relações entre o diagrama Modelo de Modelagem e a argumentação tenham sido observadas, foi essencial uma boa condução do processo por parte da professora. Destacamos a importância do papel da mesma para a construção social dos conhecimentos e para a aprendizagem social e colaborativa devido aos constantes questionamentos realizados por ela na tentativa de levar os estudantes a refutar um modelo incoerente, isto é, exercendo papel de antagonista nas discussões dos grupos (como evidenciado em vários momentos nos estudos de caso). Nesses momentos, a professora buscava promover a reflexão dos estudantes acerca da coerência de um modelo frente aos dados. Ao fazer isto, ela não impunha um modelo como certo ou errado, mas retomava ou introduzia conhecimentos e propunha situações para os estudantes refletirem. Ela também favoreceu a construção dos modelos e argumentos quando assumiu o papel de antagonista à discussão do grupo (aspecto também evidenciado nos estudos de caso), pois visava introduzir elementos de forma a favorecer o pensamento dos estudantes para um modelo mais coerente, de acordo com seus objetivos enquanto professora, isto é, encaminhar a discussão para modelos mais próximos aos curriculares, favorecendo a aprendizagem.

É necessário destacar a importância dos conhecimentos prévios da pesquisadora acerca das aplicações anteriores das estratégias de ensino para favorecer as refutações propostas pela professora (vide distinção entre a força de atração de um par iônico e entre pares iônicas na Atividade 6 de ligações iônicas e sobre dois sólidos com comportamento tão distintos apesar da existência do mesmo tipo de ligação na Atividade 2 de interações intermoleculares), que foram bastante favoráveis à rejeição de modelos incoerentes. Também destacamos que a professora tinha conhecimentos e habilidades pedagógicas que lhe favoreceram a refutação em virtude de suas experiências anteriores na condução de outras atividades investigativas (vide discussão com grupo 2 na Atividade 7 de ligações iônicas sobre $MgI_2 \cdot 2G_2$ e com o grupo 4 na Atividade 2 de interações intermoleculares a respeito da possibilidade de grafite ser C_2 devido à sua elevada temperatura de fusão). Ao longo do processo, ocorreram vários momentos (como estes destacados) em que ela teve que pensar rapidamente em um tipo de resposta ao estudante que fosse coerente com o

ensino na perspectiva da modelagem, isto é, que não descartasse um modelo sem a avaliação crítica do mesmo (Simon et al., 2006; Zohar, 2008).

Como destacado anteriormente, nas atividades de ensino fundamentadas em modelagem, a argumentação não foi ensinada explicitamente. Entretanto, em alguns momentos a professora falou para os estudantes sobre a importância de justificar as ideias e solicitou evidências. Assim, a partir dessas ações da professora, o raciocínio argumentativo dos estudantes pode ter sido influenciado, como percebemos a partir dos argumentos de elevada qualidade produzidos pelos grupos no decorrer das atividades de modelagem, especialmente após tais falas da professora.

Também destacamos a importância da professora na apresentação e discussão de dados anômalos aos estudantes para que eles pudessem reformular ou confirmar um modelo. Percebemos que, em alguns casos, os estudantes reinterpretaram o dado a seu favor. Entretanto, sempre que isso ocorreu, a professora e a pesquisadora propuseram questões, retomaram evidências e conhecimentos com o objetivo de refutar o modelo dos grupos com base nos dados, o que em todos os casos resultou na reformulação central do modelo a partir da análise do dado em questão. Assim, nossos resultados são coerentes com estudos que defendem a importância da promoção da mudança conceitual por meio de dados anômalos (T. Kuhn, 1970; Posner et al., 1982) e se diferem daqueles encontrados por Chinn e Brewer (1998) quando analisaram como estudantes de graduação lidaram com dados anômalos a suas teorias. Como comentado anteriormente, o contexto de análise dos dados dessa tese é bem distinto do utilizado por Chinn e Brewer (1998). No nosso caso, analisamos um contexto de produção de conhecimentos que era assessorado e intencionalmente guiado pela professora. Portanto, destacamos a importância do conhecimento da professora sobre como o estudante lida com um dado anômalo a seu modelo para buscar promover a mudança conceitual em sala de aula. Assim, podemos concluir que a modelagem influenciou a argumentação também devido ao modo como os estudantes usaram os dados. Os dados obtidos em nosso estudo sugerem que o uso de dados é influenciado pelo contexto (Kerlin et al., 2010).

Nas atividades de modelagem, os alunos conseguiram argumentar usando dados primários e secundários (Hug & McNeill, 2008). Entretanto, não podemos afirmar se o tipo de dado influenciou no argumento, porque percebemos que isto tem relação estreita com o contexto de uso e com a complexidade dos dados (Kerlin et al., 2010). Em outras palavras,

dados que requeriam dos estudantes usar um mesmo tipo de raciocínio, mas que em uma atividade eram primários (Atividades 1 e 2 de interações intermoleculares) e em outra eram secundários (Atividade 6 de ligações iônicas), foram usados de forma similar, isto é, os dois grupos conseguiram utilizá-los coerentemente na produção de argumentos e na refutação e defesa de modelos (algumas vezes com o auxílio da professora e da pesquisadora). Por outro lado, constatamos que lidar com dados primários (Atividade 3 de interações intermoleculares) e dados secundários (Atividade 7 de ligações iônicas) mais complexos foi uma tarefa difícil para todos os alunos. Isto nos remete, mais uma vez, à importância de se pensar na complexidade dos dados e a relação deles com os conhecimentos prévios dos estudantes e não apenas na natureza dos mesmos.

As atividades de modelagem favoreceram o uso de dados devido aos contextos fornecidos pelas mesmas, principalmente pela retomada dos dados durante as atividades, discussão intensa dos mesmos, suporte da professora e necessidade de usá-los para concluir sobre a adequação de um modelo. Isto é diferente do que acontece no ensino tradicional, em que os estudantes não têm oportunidade de analisar evidências experimentais criticamente e de entender porque as mesmas são importantes para se concluir sobre determinado modelo (Caamaño, 2010). Entretanto, os estudantes tiveram dificuldades com dados que envolviam linhas de raciocínio mais complexas. Sabendo da complexidade dos dados, como os relacionados aos aspectos energéticos envolvidos nas ligações químicas (gráfico poço potencial), a professora buscou estar atenta para auxiliar os estudantes na compreensão desses relacionamentos ao longo das atividades de modelagem.

6.5. DIAGRAMA MODELO DE MODELAGEM E ARGUMENTAÇÃO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES DA LITERATURA

A literatura da área de ensino de ciências (Bottcher & Meisert, 2010; Bravo Torija & Jiménez-Aleixandre, 2010; Clement, 2008b; Jiménez-Aleixandre, 2010; Jiménez-Aleixandre & Puig Mauriz, 2010; Windschitl et al., 2008) apresenta recomendações e/ou relações sobre modelagem e argumentação. Algumas dessas recomendações e/ou relações são importantes no contexto do nosso trabalho.

Windschitl et al. (2008) identificaram situações em que a modelagem pode encorajar a argumentação. Constatamos várias delas ao analisar o ensino via modelagem fundamentado no diagrama Modelo de Modelagem, a saber:

- descrever uma explicação potencial para o fenômeno de interesse (de forma geral, os argumentos apresentados pelos grupos visavam a produção/defesa de modelos para fundamentar explicações, por exemplo, os modelos em rede produzidos para explicar a temperatura de fusão e os dados energéticos e os argumentos que defendiam esse modelo em relação ao molecular);
- utilizar dados coletados como evidências para dar suporte à explicação (vide $A_{15}G_2$, produzido ao utilizar as evidências da Atividade 1 de interações intermoleculares para dar suporte a $MI.l_3G_2$ durante a condução de experimento mental); e
- descrever se e como o modelo inicial para o fenômeno pode se modificar à luz de evidências (vide A_8G_4 , produzido como consequência das reflexões de Sara acerca das evidências e do modelo durante a condução de experimento mental).

Para Clement (2008b), a modelagem pode favorecer a argumentação quando os estudantes estão engajados na construção de modelos e no debate dos méritos de diferentes modelos durante a fase de avaliação. Para Jimenez-Aleixandre e Puig (2010) e Bravo e Jiménez-Aleixandre (2010) a escolha de modelos explicativos e o reconhecimento de que modelos emergem das provas disponíveis requerem argumentação. Constatamos os aspectos salientados por esses autores nos dados analisados nesta tese ao observamos a presença de argumentos associados à etapa de produção de modelos e os argumentos de maior qualidade associados aos testes e às verificações das abrangências e limitações de modelos que estavam sendo avaliados.

De todos os estudos citados no início desta seção, o de Bottcher e Meisert (2010) é aquele que mais se assemelha ao nosso estudo, pois eles analisaram a argumentação envolvida em um estrutura de construção do conhecimento baseada em modelagem a partir de contribuições advindas da filosofia da ciência (por exemplo, Giere, 1999) e da ciência cognitiva (Nersessian, 1999) que também orientaram a proposição do diagrama Modelo de Modelagem. Esses autores não utilizaram o padrão de Toulmin para análise dos argumentos devido aos mesmos aspectos destacados no capítulo 4. Eles optaram por analisar a plausibilidade do argumento em relação ao contexto e ressaltaram a influência do conhecimento específico para a qualidade dos argumentos. A modelagem, segundo esses autores, envolve três etapas: produção, avaliação e modificação de modelos (sendo que o que eles denominam avaliação e modificação corresponde ao que o diagrama Modelo de Modelagem define como teste). Para a análise da argumentação, eles focaram a etapa de avaliação dos modelos, o que diverge do ocorrido em nosso trabalho, pois também

avaliamos a argumentação na elaboração, expressão e consideração de abrangências e limitações de modelos. Como nossos dados mostram, a etapa de testes foi primordial para produção de argumentos de elevada qualidade. Entretanto, os argumentos também ocorreram associados a outras etapas da modelagem. Por exemplo, existiram argumentos associados às etapas elaborar e expressar um modelo em alguns dos modos de representação, como explicitado em 6.3. Isto aconteceu porque, apesar de nessas etapas o modelo não ser confrontado explicitamente com outros possíveis (como na etapa de testes), poderiam existir outros modelos na mente dos sujeitos, ou eles poderiam ter noção de que outros modelos poderiam existir, resultando na necessidade de justificar seus modelos. Em outras palavras, no nosso caso, consideramos que um aluno produzia um argumento quando ele apresentava uma justificativa para um modelo (por exemplo, como o modelo explica a formação e constituição do NaCl na Atividade 5 de ligações iônicas), não necessariamente quando existiam modelos concorrentes. Ou seja, consideramos que pode acontecer argumentação do tipo inter e intrapessoal simples (Baker, 2009), isto é, quando uma pessoa ou mais de uma pessoa refletem sobre um ponto de vista em específico (no nosso caso, a reflexão sobre um modelo), respectivamente.

Outra diferença do nosso trabalho em relação ao de Bottcher e Meisert (2010) relaciona-se com a discussão da proposta numa situação de ensino. No nosso caso, a proposta baseada em modelagem foi aplicada anteriormente por diferentes professores em diferentes escolas e lidamos com situações reais de ensino (como a analisada nesta tese). Aqui, buscamos relações entre argumentação e modelagem a partir da análise dos dados de sala de aula relacionados às estratégias de ensino fundamentadas no diagrama Modelo de Modelagem. No caso da pesquisa de Bottcher e Meiser, foi feita a análise de um recorte dos dados de uma das pesquisas de Clement e seus colaboradores (Clement & Rea-Ramirez, 2008) e de uma situação hipotética na qual dois estudantes discutiam sobre física. Portanto, a nosso ver, as conclusões sobre a modelagem como estrutura para entender a argumentação científica propostas no trabalho desses autores estão mais relacionadas com o campo teórico do que com o prático. Acreditamos que esta é uma grande diferença entre os dois trabalhos. Bottcher e Meiser reconhecem que o próximo passo a ser trabalhado seria analisar como estratégias de ensino adequadas baseadas na modelagem podem promover a argumentação dos estudantes, o que nós, efetivamente, fizemos.

No caso analisado nesta tese, o surgimento de argumentos mais simples no início das estratégias pode ser entendido pelas ideias de Kuhn (1993) sobre o raciocínio

argumentativo ser inerente à cognição humana, ou seja, pelo fato de os estudantes já trazerem padrões de raciocínio argumentativo para a escola. A ampliação na qualidade dos argumentos pela vivência das atividades de modelagem também pode ser compreendida a partir das ideias da autora, pois, segundo ela, se desejamos ampliar a qualidade dos raciocínios dos estudantes, é necessário engajá-los em práticas autênticas do desenvolvimento do pensamento, principalmente, quando elas levem em consideração as evidências na avaliação do conhecimento. A modelagem, segundo Windschitl et al. (2008), Clement (2008b) e Bottcher e Meisert (2010) é uma dessas práticas descritas pela autora e, considerando a análise realizada nesta tese, ela conseguiu atingir os objetivos destacados por ela.

Por todas as evidências destacadas nos estudos de caso, pelos relacionamentos entre nossos resultados (e deles com a literatura) realizados nas seções anteriores, concluímos que as atividades de ensino fundamentadas no diagrama Modelo de Modelagem além de favorecer a melhor compreensão dos modelos curriculares (Maia & Justi, 2009b; Mendonça & Justi, 2009a, 2009b; Mendonça & Justi, 2011; Souza & Justi, 2010), de favorecer o desenvolvimento de habilidades investigativas (Maia, 2009; Maia & Justi, 2009a) e de favorecer o desenvolvimento da capacidade de visualização (Gilbert, Justi, & Queiroz, 2010; Queiroz, 2009), podem favorecer a produção de argumentos. Por isso, defendemos que tal diagrama seja utilizado como um estruturador de estratégias de ensino com esses propósitos.

6.6. UMA REFLEXÃO SOBRE AS ATIVIDADES DE MODELAGEM

A partir das análises dos estudos de caso e das conclusões estabelecidas a partir delas, julgamos que as atividades das estratégias de ensino estão adequadas quanto aos objetivos de favorecer a construção de modelos mais próximos aos curriculares (aspecto também evidenciado em Mendonça & Justi (2010)) e de favorecer a produção de argumentos (como evidenciado nas conclusões deste trabalho). De forma geral, a modelagem cumpriu seu papel quanto à argumentação envolvida na produção, expressão, teste e avaliação de modelos, isto é, constituiu-se de uma prática epistêmica válida para a argumentação científica curricular. Entretanto, torná-la mais próxima ao ensino dirigido explicitamente à argumentação poderá favorecer a distinção dos componentes do argumento e o desenvolvimento de refutações espontâneas. Assim, percebemos que podemos melhorar as estratégias com o intuito de favorecer a produção de argumentos de melhor qualidade e o

trabalho do professor em sala de aula. Nos Apêndices 7 e 8, apresentamos versões reformuladas de algumas das atividades com esse objetivo. Todas as modificações são apresentadas em azul.

Com relação à estratégia de ensino de ligações iônicas, na Atividade 3, foram acrescentadas e/ou modificadas algumas questões. Na nova versão das questões 6 e 7 da parte A, visamos explorar mais a evidência experimental que comprova a estabilidade do óxido de magnésio em relação ao magnésio. A partir da análise de dados, percebemos que nem sempre era claro para os estudantes qual era a evidência (liberação de luz) que poderia provar a maior estabilidade do óxido de magnésio e que muitos deles tiveram dificuldade de entender o significado do termo 'evidência'. Assim, a solicitação explícita da evidência pode favorecer o melhor entendimento sobre a importância dela para comprovar um ponto de vista. Os esquemas propostos para as questões 8 da parte A e 1 e 4 da parte C visam favorecer a necessidade de a conclusão ser subsidiada por evidências e justificativa de ordem teórica. Esses esquemas foram inspirados do trabalho de Chin e Osborne (2010) e do material IDEAS, proposto por Osborne, Erduran e Simon (2004b), no qual há esquemas baseados nos componentes do modelo de Toulmin para preenchimento com as ideias dos estudantes. Julgamos que eles podem favorecer o trabalho do professor em sala de aula, pois percebemos que esses elementos têm relação com as questões geralmente feitas pela professora aos estudantes (Por que você pensa assim? O que lhe levou a pensar assim? Qual a evidência experimental que demonstra isso?) (assim como ocorreu no trabalho de Chin e Osborne, 2010). A solicitação da expressão dos dois tipos de justificativas nessas questões pode influenciar na produção de argumentos de melhor qualidade e no metaconhecimento sobre componentes do argumento. As demais modificações visam favorecer a expressão dos diferentes pontos de vista do grupo, de justificativas para os mesmos e da ponderação das perspectivas alternativas pelos próprios componentes do grupo para se chegar a uma conclusão.

Na Atividade 4 foram adicionados os dados relativos às segunda e terceira energias de ionização com o intuito de favorecer a melhor fundamentação da conclusão a partir da análise dos dados (por exemplo, perceber melhor as diferenças nos acréscimos dos valores das energias em função dos níveis ocupados pelos elétrons). Segundo Kanari e Millar (2004), é mais fácil para o estudante estabelecer padrões quanto maior a riqueza de dados para análise. Também modificamos o conceito de afinidade eletrônica por um mais atual. Nessa

Atividade, também foram adicionados os esquemas para favorecer a articulação dos dados com conhecimentos teóricos que podem subsidiar as conclusões dos estudantes.

Na Atividade 5, na questão 1, pedimos explicitamente para o estudante elaborar um modelo para o nível submicroscópico, pois, geralmente, eles focavam o nível macroscópico da matéria. Também foi adicionado um esboço de gráfico que relaciona energia potencial com a distância entre átomos para fornecer subsídios aos estudantes para responder a questão 5. Isto foi proposto em função de termos observado que os estudantes apresentavam grandes dificuldades em relacionar energia com estabilidade.

Na Atividade 7, as questões 1, 2, 3, 5 e 6 foram acrescentadas ou modificadas com o intuito de explorar mais as evidências experimentais apresentadas na Atividade em relação aos modelos e de levar o estudante a perceber que um bom modelo deve ser capaz de explicar o maior número possível de evidências. Fizemos essas modificações levando em consideração os fatos de os estudantes terem explorado pouco os dados da Atividade 7 e de não terem articulado os dados visando demonstrar o poder explicativo do modelo. Além disso, consideramos também as recomendações da literatura sobre a importância dos elementos retóricos na argumentação, isto é, que os estudantes utilizem os modelos visando convencer seus pares sobre a adequação deles (Berland & Reiser, 2009; Bottcher & Meisert, 2010). Essas questões têm relação com as que foram feitas pela professora na condução da modelagem. Por isso, julgamos que disponibilizá-las na Atividade poderá favorecer o trabalho de outros professores na condução da mesma. Finalmente, decidimos dar espaço livre para que o estudante possa organizar seus argumentos para defesa de um modelo, pois ele pode utilizar quantas evidências julgar necessário (tanto as disponibilizadas pela Atividade quanto outras que ele possa selecionar em sua estrutura cognitiva) e porque ele já pode ter desenvolvido noção dos principais elementos do argumento devido às solicitações das atividades anteriores.

Com relação à estratégia de interações intermoleculares, na Atividade 2 foi proposta a questão 4, que interroga se o modelo proposto é capaz de explicar o retorno do iodo ao estado sólido quando resfriado. Essa questão foi acrescentada devido à importância da mesma nos estudos de caso para a reformulação dos modelos que demonstravam rompimento de interações interatômicas no iodo.

Na Atividade 3, foram acrescentadas questões que visam explorar a relação do modelo com as evidências experimentais das Atividades 2 e 3 e a importância do argumento ser convincente para os demais, isto é, de ele levar em consideração o maior número de evidências possíveis. Isto foi feito devido aos mesmos motivos especificados anteriormente para modificação da Atividade 7 de ligações iônicas.

Não alteramos significativamente os elementos apresentados nas atividades, pois tivemos indícios que os dados que tinham o intuito de favorecer as experiências com o alvo e aqueles que foram utilizados nos testes foram relevantes para a construção e revisão de modelos e para a formulação de argumentos. O que fizemos foi tentar tornar as questões mais próximas do ensino mais dirigido à argumentação em virtude do favorecimento da elaboração de argumentos decorrente de várias questões feitas pela professora no processo de ensino aqui analisado. Acreditamos que isto pode favorecer as ações de professores que irão aplicar a proposta pela primeira vez e daqueles que possuem um número elevado de alunos em sala de aula para dar assistência.

CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1. IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

A partir das conclusões deste trabalho, sugerimos o uso do diagrama Modelo de Modelagem para fundamentar estratégias de ensino que visam favorecer a argumentação e o uso de dados em outros contextos (outros temas químicos e nas disciplinas Física e Biologia) porque o uso do mesmo favoreceu atingir esses objetivos na situação analisada nesta tese. A seguir apresentamos algumas sugestões para o professor planejar e aplicar estratégias de ensino fundamentadas em modelagem de forma a favorecer a argumentação. Para ter mais detalhes sobre o papel do professor envolvido na modelagem ver Justi (2006, 2009).

Ao planejar estratégias de modelagem, é importante prever os conhecimentos prévios dos estudantes que são pré-requisitos ou pensar em atividades que possam favorecer a retomada ou a construção dos mesmos por parte dos estudantes. Em outras palavras, é essencial pensar em atividades que visem levar os estudantes a ter ou retomar experiências com o alvo para favorecer a proposição de modelos e ampliar a qualidade dos argumentos devido a relação entre dado(s) e teoria(s).

Ao aplicar atividades de modelagem, o professor deve solicitar ao estudante as justificativas para seus pontos de vista e modelos em todas as etapas do processo. Isto pode ocorrer nas discussões nos grupos e durante a socialização dos modelos na turma. Durante a socialização, o professor deve manejar a discussão de forma a possibilitar a todos oportunidades para apresentar os pontos de vista sem encaminhar para um modelo em específico de forma autoritária. Essas ações podem favorecer a argumentação social.

Na etapa de testes, a existência de mais de um modelo é imprescindível para que haja a defesa e a refutação de um modelo frente aos dados e para que fique claro como um determinado teste colaborou para a produção ou confirmação de um modelo. Novamente ressaltamos a importância de o professor dar espaço para a ocorrência de discussões que têm como objetivo verificar o ajuste de um modelo frente aos dados, tanto nos grupos quanto durante a socialização das ideias dos estudantes.

Devido à relevância da fase de testes para a produção de argumentos de elevada qualidade, é importante pensar na escolha de atividades experimentais que gerem evidências primárias, e/ou de evidências secundárias que colaborem para reflexões críticas

acerca de um modelo incoerente de forma consciente, o que pode resultar em modificações no mesmo. Para isso, é importante conhecer as concepções alternativas mais comuns desenvolvidas pelos estudantes, pois, geralmente, elas nos conduzem aos possíveis tipos de modelos e estilos de raciocínio dos estudantes na modelagem. Devido à complexidade de muitos temas científicos (como as ligações químicas abordadas nesta tese), bem como à importância de oferecer diversas oportunidades para o estudante refletir sobre seus modelos, de forma análoga ao que ocorre na ciência, é importante pensar em mais de um momento para o teste dos mesmos, pois o objetivo central é a escolha de modelos a partir da argumentação racional, isto é, subsidiada em dados e justificativas.

A análise de distintos modelos produzidos pela turma é importante para a verificação das abrangências e limitações deles, o que tende a favorecer a produção de argumentos de elevada qualidade. Nesta etapa, é importante o diálogo com os estudantes em torno das abrangências e limitações do modelo consensual, isto é, da explicitação de argumentos que demonstrem aspectos que o modelo é ou não capaz de explicar. Nesse sentido, o modelo curricular não deve ser imposto pelo professor – situação que desvalorizaria todo processo de ensino – mas, devem ser apresentados argumentos que demonstrem aspectos que o mesmo é capaz de explicar em relação ao modelo consensual da turma (por exemplo, trazendo mais dados para análise e verificando se o modelo consensual da turma é capaz de explicá-los, ou se é necessário recorrer ao modelo curricular).

Em sala de aula, a opção pelo trabalho em grupo de forma colaborativa tem contribuído na produção de modelos mais próximos dos curriculares e argumentos de melhor qualidade. O registro das produções do grupo em atividades escritas também é importante por favorecer a síntese das ideias, expressão de modelos escritos e/ou em desenhos e produção de argumentos escritos.

Durante todo processo, é necessário que o professor estabeleça relações entre a construção de conhecimentos na ciência e a modelagem vivida em sala de aula para que os estudantes possam *aprender sobre ciência* e a *fazer ciência*. A partir dos resultados desta tese e de nossos estudos anteriores, podemos afirmar que tais relações podem enfatizar (i) a importância de um modelo dar conta de explicar o maior número de dados, (ii) a necessidade de vários testes para se chegar a uma conclusão; (iii) a presença de modelos e de argumentos na comunidade científica com o objetivo de expor o conhecimento e avaliá-

lo na tentativa de se estabelecer um consenso; e (iv) a presença de evidências, justificativas e da persuasão na escrita e na comunicação dos conhecimentos produzidos por cientistas.

Recomendamos que todos esses aspectos sobre modelagem e argumentação sejam discutidos com professores de ciências em cursos de formação inicial e continuada. Tais discussões podem ocorrer a partir da leitura dos estudos de caso e conclusões apresentadas nessa tese a fim de que os aspectos mais importantes sejam claramente evidenciados para esses professores. Acreditamos também que o conhecimento e a discussão detalhada de situações regulares de ensino fundamentadas em modelagem e nas quais a argumentação foi favorecida possa encorajar os professores a utilizar tal abordagem de ensino em suas salas de aula, bem como muni-los de informações úteis para favorecer tal utilização.

Sugerimos, em particular, a discussão sobre a importância dos dados anômalos para promoção da mudança conceitual através das atividades de modelagem. Mostrar como a professora ora analisada lidou com eles numa situação regular de ensino pode ajudar na compreensão dos professores sobre como lidar com dados em atividades de modelagem ou em outras perspectivas de ensino investigativas e sobre como favorecer a argumentação nos momentos em que os estudantes lidam com esses dados.

Também recomendamos que em cursos de formação inicial e continuada de professores de ciências seja discutido o que é um argumento científico curricular (comparando-o com o argumento científico) e que seja explicitada a importância do desenvolvimento de argumentos pelo estudante para melhor aprendizagem de ciências, sobre ciências e para sua formação geral. Acreditamos que isto possa favorecer atuações dos professores mais voltadas para o favorecimento da ocorrência de argumentação entre os estudantes, mesmo quando o ensino não ocorrer a partir da modelagem.

7.2. IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA

Como o instrumento de análise de argumentos científicos curriculares é campo-dependente, sugerimos o seu uso na análise de argumentos em contextos de ensino de ciências que objetivem a aprendizagem conceitual através da escolha entre modelos rivais, como os que ocorrem a partir da utilização de atividades de modelagem, bem como em outras situações de construção de conhecimentos e avaliação dos mesmos. Isso porque julgamos que esse instrumento favorece a análise do argumento enquanto processo, isto é, a análise de acordo com a plausibilidade e coerência do conhecimento em um contexto; e dos principais

elementos de um argumento de natureza científica (dados de origem empírica, justificativas de ordem teórica (causais ou analógicas), e elementos persuasivos).

Além disto, o instrumento pode contribuir para pesquisas voltadas para educação científica porque evita a ocorrência dos problemas relativos à utilização do padrão de Toulmin em contextos de argumentação científica (justificativas devem ter componente científico) e à distinção dos componentes do argumento (garantia de apoio) (Abi-El-Mona & Abd-El-Khalick, 2011; Sampson & Clark, 2008).

Acreditamos que o instrumento tem algumas vantagens em relação ao instrumento de Osborne et al. (2004a) (apresentado no capítulo 2). Nosso foco não está na presença do elemento refutação, mas na qualidade das justificativas de “defesa” ou “ataque” de um modelo. Em outras palavras, de acordo com nosso instrumento, um argumento melhor é aquele que justifica bem uma conclusão a partir de dados empíricos que são devidamente conectados a ela a partir de conhecimentos de ordem teórica, e não aquele que apresenta descrédito de um ponto de vista sem que haja, necessariamente, demanda para tal, isto é, julgamento dos méritos de modelos rivais. Julgamos que a ênfase nas justificativas seja mais coerente no processo colaborativo de construção de conhecimentos, em concordância com Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick (2010), ao invés da ênfase na refutação.

Resumindo, o instrumento para análise de argumentos científicos curriculares pode contribuir para pesquisas por ser campo-dependente, analisar argumentos como processo e se focar no argumento para decidir sobre a escolha da melhor explicação potencializada pelo modelo. O uso desse instrumento em outras pesquisas pode contribuir para a literatura a partir da discussão da viabilidade do mesmo para análise de argumentos no contexto de produção de conhecimentos no Ensino de Ciências. Entretanto, é válido ressaltar que a utilização do melhor instrumento deve ser compatível com a questão de pesquisa investigada.

Julgamos que o diagrama Modelo de Modelagem pode trazer implicações para a pesquisa no campo da argumentação em função de como o mesmo estrutura atividades de ensino que favorecem a ocorrência de argumentação. O uso do diagrama para fundamentar novas propostas de ensino e pesquisas relacionadas a elas pode contribuir para a literatura no que se relaciona ao melhor entendimento (i) de como o diagrama favorece a construção, crítica e revisão de modelos e argumentos associados a eles; (ii) sobre o emprego do

instrumento de análise e a qualidade dos argumentos e (iii) sobre o papel do professor envolvido em atividades de modelagem de forma a favorecer a argumentação dos estudantes.

Novas questões de pesquisa podem ser investigadas a partir do uso do diagrama Modelo de Modelagem visando favorecer a construção e avaliação de conhecimentos a partir da modelagem e da argumentação. Um exemplo que nos parece interessante seria aplicar as estratégias reformuladas com foco mais explícito na argumentação (Apêndices 7 e 8) e perceber se houve melhor distinção dos componentes do argumento e melhoria na capacidade de refutar espontaneamente.

7.3. TRABALHOS FUTUROS

Brevemente, pretendemos divulgar os resultados obtidos nesta tese e continuar com a análise das entrevistas, pois a partir de uma análise preliminar percebemos que poderemos contribuir para a literatura a partir da discussão sobre transferência de habilidades, influência de conhecimentos na argumentação e análise de argumento enquanto produto ou processo em comparação com os dados da tese.

Também pretendemos propor algo como uma disciplina optativa que objetive discutir sobre argumentação e modelagem com nossos alunos em formação inicial dos cursos de Licenciatura em Química nos quais atuamos (Universidade Federal de Ouro Preto e Universidade Federal de Minas Gerais). Acreditamos que discutir sobre esses aspectos na formação inicial pode favorecer a formação de professores que atuem de acordo com as novas tendências para o Ensino de Ciências e na disseminação de abordagens de ensino como as analisadas nesta tese, em escolas onde eles atuarão futuramente ou naquelas em que realizam estágios. No contexto dessa disciplina, também pensamos em dar oportunidades para que os graduandos desenvolvam outras estratégias de ensino que contemplem modelagem e argumentação, porque acreditamos que a proposição pode ser tão rica quanto a aplicação e análise crítica das propostas de ensino, de forma a favorecer a formação de professores prático-reflexivos (Schön, 1991). Em última instância, acreditamos que essa ação também pode estimular a formação de pesquisadores na área de Ensino de Ciências.

Também pensamos em, futuramente, convidar professores que já atuam no ensino de Química, como a professora que aplicou a estratégia que é analisada nesta tese, para

participar de um grupo de formação continuada para discutirmos sobre argumentação e modelagem. Assim, poderemos capacitar professores que já passaram pela formação inicial e que podem não ter discutido sobre esses assuntos nela. Tais professores poderão ser disseminadores do uso de modelagem e de argumentação em várias escolas. Nesse contexto, como naquele de formação inicial, defendemos a importância de discutir sobre aspectos centrais de argumentação e modelagem e de utilizar os resultados e conclusões desta tese para auxiliar na discussão sobre o papel dos alunos e professor em atividades de modelagem que visam favorecer a argumentação. Também julgamos relevante a proposição de estratégias pelos próprios professores a partir das demandas deles, assim como ocorreu com o grupo de formação continuada de professores que elaborou a estratégia de interações intermoleculares de acordo com as vivências de sala de aula (Figueirêdo, 2008). Acreditamos que, como aconteceu no grupo anterior, os conhecimentos advindos da prática desses professores poderão ser muito relevantes para a proposição de novas estratégias de ensino. Isto pode favorecer a troca de saberes entre os professores da universidade e os da educação básica, isto é, a integração entre a pesquisa e o ensino – aspecto que julgamos essencial para a melhoria de ambos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS. (1990). Science for All Americans: A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology. Washington, DC: Oxford University Press.
- Abi-El-Mona, I., & Abd-El-Khalick, F. (2011). Perceptions of the Nature and 'Goodness' of Argument among College Students, Science Teachers, and Scientists. *International Journal of Science Education*, 33(4), 573-605.
- Baker, M. (2009). Argumentative Interactions and the Social Construction of Knowledge. In N. M. Mirza & A.-N. Perret-Clermont (Eds.), *Argumentation and Education: Theoretical Foundations and Practices* (pp. 127-144). Dordrecht: Springer.
- Bell, P., & Linn, M. (2002). Scientific arguments as learning artifacts: designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797-817.
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making Sense of Argumentation and Explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.
- Billig, M. (1987). *Arguing and thinking: a rhetorical approach to social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bortoletto, A., & Carvalho, W. L. P. (2009, 08 a 13 de novembro). *Temas sócio-científicos: análise dos processos argumentativos num contexto escolar*. Artigo apresentado no VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis.
- Bottcher, F., & Meisert, A. (2010). Argumentation in Science Education: A Model-based Framework. *Science & Education*, 20(2), 103-140.
- Bozzo, M. V., & Motokane, M. T. (2009, 8 a 13 de novembro). *Focos de pesquisa em argumentação no Ensino de Ciências: Analisando o referencial teórico*. Artigo apresentado no VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis.
- Brasil. (2001). *Parâmetros Curriculares Nacionais +*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.
- Bravo Torija, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). ¿Salmones o sardinas? Una unidad para favorecer el uso de pruebas y la argumentación en ecología. *Alambique*, 63, 19-25.
- Bravo Torija, B., Puig Mauriz, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2009). Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación Química*, 20(2), 126-131.
- Brockriede, W. (1991). Where is argument? In R. Trapp & J. Schuetz (Eds.), *Perspectives of argumentation: Essays in honour of Wayne Brockriede* (pp. 10-17). Illinois: Waveland.
- Brook, A., Driver, R., & Johnston, K. (1989). Learning process in science: a classroom perspective. In J. Wellington (Ed.), *Skills and process in science education: A critical analysis* (pp. 63-82). London & New York: Routledge.
- Caamaño, A. (2010). Argumentar em ciencias - un elemento esencial para la educación científica y ciudadana. *Alambique*, 63, 5-10.
- Cachapuz, A., Gil-Perez, D., Carvalho, A. M. P., Praia, J., & Vilches, A. (2005). *A necessária renovação do ensino das ciências*. São Paulo: Cortez.
- Capecchi, A. C. V. M., & Carvalho, A. M. P. (2000). Argumentação em uma aula de conhecimento físico com crianças na faixa de oito e dez anos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(3), 171-198.
- Chalmers, A. F. (2010). *O que é ciência afinal?* São Paulo: Brasiliense.
- Chin, C., & Osborne, J. (2010). Students' Questions and Discursive Interaction: The impact on Argumentation During Collaborative Group Discussions in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 883-908.

- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). An Empirical Test of Taxonomy of Responses to Anomalous Data in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
- Chittleborough, G., Treagust, D. F., Mamiala, T. L., & Mocerino, M. (2005). Student's perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science & Technological Education*, 23(2), 195-212.
- Clement, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism - Protocol evidence on sources of creativity in science. In J. A. Glover, R. R. Ronning & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of Creativity* (pp. 341-381). New York: Plenum.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Clement, J. (2008a). *Creative Model Construction in Scientists and Students - The Role of Imagery, Analogy, and Mental Simulation*. Dordrecht: Springer.
- Clement, J. (2008b). Six levels of organization for curriculum design and teaching. In J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 255-272). Dordrecht: Springer.
- Clement, J. (2008c). Student/Teacher Co-construction of Visualizable Models in Large Group Discussion. In J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 11-22). Dordrecht: Springer.
- Clement, J., & Núñez-Oviedo, M. C. (2008). A Competition Strategy and Other Modes for Developing Mental Models in Large Group Discussion. In J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model Based Learning and Science Instruction* (pp. 117-138). Dordrecht: Springer.
- Clement, J., & Rea-Ramirez, M. A. (2008). *Model Based Learning and Science Instruction*. Dordrecht: Springer.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research Methods in Education* (5th ed.). London and New York: Routledge Falmer.
- Correa, H. L., Mozzer, N. B., & Justi, R. (2010). *A nova dialética e os esquemas de argumento de Walton: um estudo sobre sua aplicabilidade no estudo de argumentação em sala de aula de ciências*. Artigo apresentado no XV Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino, Belo Horizonte, 20 a 23 de abril.
- Cross, D., Taasobshirazi, G., Hendricks, S., & Hickey, D. (2008). Argumentation: A strategy for improving achievement and revealing scientific identities. *International Journal of Science Education*, 30(6), 837-861.
- Del Re, G. (2000). Models and analogies in science. *HYLE*, 6, 3-12.
- Develaki, M. (2007). The Model-Based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes. *Science & Education*, 16(7), 725-749.
- Driver, R. (1989). Student's conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(Special), 481-490.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Duschl, R. A. (1998). La Valoración de Argumentaciones y Explicaciones: Promover Estrategias de Retroalimentación. *Enseñanza de Las Ciencias*, 16(1), 3-20.
- Duschl, R. A. (2008). Quality Argumentation and Epistemic Criteria. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 159-170). Dordrecht: Springer.
- Duschl, R. A., & Ellenbogen, K. (2009). Argumentation and Epistemic Criteria: Investigating Learners's Resasons for Reasons. *Educación Química*, 20(2), 111-118.

- Duschl, R. A., Ellenbogen, K., & Erduran, S. (1999, 11 a 15 de Abril). *Understanding dialogic argumentation among middle school science students*. Paper presented at the The Annual Conference of American Educational Research Association, Montreal.
- Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education. *Studies in Science Education*, 38, 39-72.
- Echeverría, A. R. (1996). Como os estudantes concebem a formação de soluções. *Química Nova na Escola*, 3, 15-18.
- Eemeren, F. H. v., & Grootendorst, R. (1992). *Argumentation, communication and fallacies: a pragma-dialectical perspective*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum
- Eemeren, F. H. v., Grootendorst, R., Henkemans, F. S., Blair, J. A., Johnson, R. H., Krabbe, E. C. W., Plantin, C., Walton, D. N., Willard, C. A., Woods, J., & Zarefsky, D. (1996). *Fundamentals of argumentation theory: A handbook of historical backgrounds and contemporary developments*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10(6), 581-593.
- Erduran, S. (2007). Breaking the law: promoting domain-specificity in chemical education in the context of arguing about the periodic law. *Foundations of Chemistry*, 9, 247-263.
- Erduran, S. (2008). Methodological Foundations of Learning Argumentation. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 47-70). Dordrecht: Springer.
- Erduran, S., & Duschl, R. A. (2004). Interdisciplinary Characterizations of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom. *Studies in Science Education*, 40, 105-138.
- Erduran, S., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2008). *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*. Dordrecht: Springer.
- Erduran, S., & Yan, X. (2010). Salvar las brechas en la argumentación: el desarrollo profesional en la enseñanza de la indagación científica. *Alambique*, 63, 76-87.
- Erickson, F. (2006). Definition and Analysis of Data from Videotape: Some Research Procedures and Their Rationales. In J. L. Green, G. Camilli & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of Complementary Methods in Education Research* (pp. 177-191). New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Figueirêdo, K. L. (2008). *Formação Continuada de Professores de Química Buscando Inovação, Autonomia e Colaboração: Análise do desenvolvimento de seus conhecimentos sobre modelagem a partir do envolvimento em pesquisa-ação em um grupo colaborativo*. Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Furió, C., & Catalayud, M. L. (1996). Difficulties with geometry and polarity of molecules: beyond misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 73, 36-41.
- Garcia, L., & Valeiras, N. (2010). Lectura y escrita en el aula de ciencias: una propuesta para reflexionar sobre la argumentación. *Alambique*, 63, 57-64.
- Garcia-Mila, M., & Andersen, C. (2008). Cognitive Foundations of Learning Argumentation. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 29-46). Dordrecht: Springer.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Student's alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters and teeming crowds: mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 99-129). Hillsdale, NY: Erlbaum.

- Germann, P. J., & Aram, R. J. (1996). Students Performances on the Science Processes of Recording Data, Analyzing Data, Drawing Conclusions, and Providing Evidence. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), 773-798.
- Giere, R. N. (1999). Using Models to Represent Reality. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 41-57). New York: kluwer and Plenum Publishers.
- Giere, R. N. (2001). A new framework for teaching scientific reasoning. *Argumentation*, 15, 21-33.
- Giere, R. N. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Giere, R. N. (2009). Why Scientific Models Shoul not Regard as Works of Fiction. In M. Suárez (Ed.), *In fictions in science: Philosophical Essays on Modelling and Idealization* (pp. 248-258). London: Routledge.
- Giere, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172, 269-281.
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (pp. 3-24). Dordretch: Springer.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, J. K., Justi, R., & Queiroz, A. S. (2009, 31 de agosto a 4 de setembro). *The Use of Modelling to Develop Visualization During the Learning of Ionic Bonding*. Paper presented at the VIII European Science Education Research Association Conference, Istambul.
- Gilbert, J. K., Justi, R., & Queiroz, A. S. (2010). The use of a model of modelling to develop visualization during the learning of ionic bonding. In M. F. Taşar & G. Çakmakçı (Eds.), *Contemporary Science Education Research: International Perspectives* (pp. 43-51). Ankara, Turkey: Pegem Akademi.
- Gott, R., & Duggan, S. (1996). Pratical work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791-806.
- Grandy, R. E. (2003). What are Models and Why Do We Need Them? *Science & Education*, 12(8), 773-777.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their use in Science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Harrison, & Treagust, D. F. (1996). Secondary Student's Mental Models of Atoms and Molecules: Implication for Teaching Chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-562.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670.
- Hogan, K., & Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 663-687.
- Hug, B., & McNeill, K. L. (2008). Use of First-hand and Secondy-hand Data in Science: Does data type influence classroom conversations? *International Journal of Science Education*, 30(13), 1725-1751.

- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1998). Diseño Curricular: Indagación y Razonamiento con el Lenguaje de las Ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 16(2), 203-216.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2008). Designing Argumentation in Learning Environments. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 91-116). Dordrecht: Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave: competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., & Duschl, R. A. (2000). "Doing the Lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in Science Education: An overview. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 3-27). Dordrecht: Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Otero Gallástegui, J. R., Eirexas Santamaría, F., & Puig Mauriz, B. (2009). *Resources of introducing argumentation and the use of evidence in science classrooms*. Santiago de Compostela: University of Santiago de Compostela.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Pereiro Muñoz, C. (2002). Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management. *International Journal of Science Education*, 24(11), 1171-1190.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Puig Mauriz, B. (2010). Argumentation and assessing causal explanation in science: the case of intelligence. *Alambique*, 63, 11-18.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro and microchemistry. *The School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Jonassen, D. (2008). Model Building for Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 676-693): Routledge.
- Justi, R. (2006). La Enseñanza de Ciencias Basada en La Elaboración de Modelos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 24(2), 173-194.
- Justi, R. (2009). Learning How to Model in Science Classroom: Key Teacher's Role in Supporting the Development of Students' Modelling Skills. *Educación Química*, 20(1), 32-40.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (1999). A Cause of Ahistorical Science Teaching: Use of Hybrid Models. *Science Education*, 83(2), 163-177.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003). Models and Modelling in Chemical Education. In J. K. Gilbert, O. d. Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. v. Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 47-68). Dordrecht: Kluwer.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2006). The role of analogue models in the understanding of the nature of models in chemistry. In P. Aubusson, A. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education*: Dordrecht: Springer.
- Justi, R., Gilbert, J. K., & Ferreira, P. F. M. (2009). The Application of a 'Model of Modelling' to Illustrate the Importance of Metavisualization in Respect of the Three Types of Representation. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Representation in Chemical Education* (pp. 285-307). Dordrecht: Springer.
- Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from Data: How Students Collect and Interpret Data in Science Investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748-769.

- Kelly, G. J., Druker, S., & Chen, C. (1998). Student's reasoning about electricity: combining performance assessments with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 20(7), 849-871.
- Kelly, G. J., Regev, J., & Prothero, W. (2008). Analysis of Line of Reasoning in Written Argumentation. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 137-158). Dordrecht: Springer.
- Kelly, G. J., & Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography student's oral use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314-342.
- Kerlin, S. C., McDonald, S. P., & Kelly, G. J. (2010). Complexity of Secondary Scientific Data Sources and Students' Argumentative Discourse. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1207-1255.
- Konstantinidou, K., Cerveró, J. M., & Castells, M. (2010). Students' arguments and scientific conception - A didactic interpretation and orientation from a rhetorical-argument theory. *Alambique*, 63, 26-38.
- Kuhn, D. (1991). *The Skills of Argument*. New York: Cambridge University.
- Kuhn, D. (1993). Science as Argument: Implications for Teaching and Learning Science Thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
- Kuhn, T. (1970). *The structure of scientific revolution*. Chicago: University of Chicago.
- Latour, B. (2000). *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo: UNESP.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1997). *A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume-Dumará.
- Lewis, J., & Leach, J. (2006). Discussion of socio-scientific issues: the role of science knowledge. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1267-1287.
- Maia, P. F. (2009). *Habilidades investigativas no ensino fundamentado em modelagem*. Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009a). Desenvolvimento de Habilidades em Atividades de Modelagem. *Ensenanza de Las Ciencias*, 27(extra), 776-779.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009b). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630.
- Maia, P. F., Queiroz, A. S., Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2007, 26 de novembro a 01 de dezembro). *Modelagem e representações no ensino de ligações iônicas: Análise de uma estratégia de ensino*. Artigo apresentado no VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Florianópolis.
- Márquez Bargalló, C., & Prat, A. (2010). Favorecer la argumentación a partir de la lectura de textos. *Alambique*, 63, 39-49.
- Matthews, M. R. (1998). *Constructivism in Science Education - A Philosophical Examination*. Dordrecht: Kluwer.
- Matthews, M. R. (2007). Models in science and in science education: an introduction. *Science & Education*, 16(7-8), 647-652.
- McWenny, R. (1979). *Coulson's valence*. London: Oxford University.
- Mendonça, P. C. C. (2008). *'Ligando' as idéias dos alunos à ciência escolar: Análise do ensino de ligação iônica por modelagem*. Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Mendonça, P. C. C., Correa, H. L., & Justi, R. (2009). *Proposição de um instrumento para avaliação de habilidades argumentativas - Parte II: validação*. Artigo apresentado no VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, 08 a 13 de novembro.

- Mendonça, P. C. C., Figueirêdo, K. L., & Justi, R. (2010). *Perspectiva retórica da argumentação e o Ensino de Ciências*. Artigo apresentado no XV Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino, Belo Horizonte, 20 a 23 de abril.
- 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(E), 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(3), 373-382.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2009c). *Proposição de um instrumento para avaliação de habilidades argumentativas - Parte I: fundamentos teóricos*. Artigo apresentado no VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências Florianópolis, 08 a 13 de novembro.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2011). Contributions of the 'model of modelling' diagram to the learning of ionic bonding: analysis of a case study. *Research in Science Education*, 41, 479-503.
- Merriam, S. B. (1988). *Case Study Research in Education - A Qualitative Approach*. San Francisco and London.
- Millar, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11(Special), 587-596.
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College, London School of Education.
- 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.
- Mortimer, E. F. (1996). Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: Para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 20 - 39.
- Mortimer, E. F. (2006). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências* Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Mortimer, E. F., Mol, G., & Paes, L. D. (1994). Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: dogma ou ciência? *Química Nova*, 17(3), 243-252.
- Mozzer, N. B., Queiroz, A. S., & Justi, R. (2007). *Proposta de ensino de introdução ao tema interações intermoleculares via modelagem*. Artigo apresentado no VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências Florianópolis, Brasil.
- Nakhleh, B. (1992). Why some students don't learn chemistry? *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- Nascimento, S. S., & Plantin, C. (2009). *Argumentação e Ensino de Ciências*. Curitiba: CRV.
- Nascimento, S. S., & Vieira, R. D. (2008). Contribuições e limites do padrão de argumento de Toulmin aplicado em situações argumentativas de sala de aula de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8(2), 1-20.
- Nersessian, N. J. (1992). How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science* (pp. 3-44). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- 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.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In P. Carruthers, S. Stich & M. Siegal (Eds.), *The cognitive basis of science*. New York: Cambridge.

- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553-576.
- Nussbaum, J. (1989). Classroom Conceptual Change: Philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11(5), 530-540.
- Osborne, J. (2007). Towards a more social pedagogy in science education: the role of argumentation. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 7(1), 1-17.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004a). Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004b). *Ideas, Evidence and Argumentation in Science (IDEAS) Project*. London: King's College London.
- Osborne, J., & Patterson, A. (2011). Scientific Argument and Explanation: A Necessary Distinction? *Science Education*, 95(2), 627-638.
- Patronis, T., Potari, D., & Spiliotopoulou, V. (1999). Student's argumentation in decision-making on a socio-scientific issue: implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21(7), 745-754.
- Perelman, C., & Olbretsch-Tyteca, L. (2002). *Tratado de Argumentação*. São Paulo: Martins Fontes.
- Peterson, R. F., & Treagust, D. (1989). Grade 12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 459-460.
- Portides, D. P. (2007). The Relation between Idealisation and Approximation in Scientific Model Construction. *Science & Education*, 16(7-8), 699-724.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Praia, J., Cachapuz, A., & Gil-Perez, D. (2002). Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. *Ciência & Educação*, 8(1), 127-145.
- Queiroz, A. S. (2009). *Contribuições do Ensino de Ligação Iônica Baseado em Modelagem ao Desenvolvimento da Capacidade de Visualização*. Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Núñez-Oviedo, M. C. (2008). An Instructional Model Derived from Model Construction and Criticism Theory. In J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based Learning and Instruction in Science*. Dordrecht: Springer.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Núñez-Oviedo, M. C. (2008). An Instructional Model Derived from Model Construction and Criticism Theory. In J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 23-44). Dordrecht: Springer.
- Reiner, M., & Gilbert, J. K. (2004). The symbiotic roles of empirical experimentation and thought experimentation in the learning of physics. *International Journal of Science Education*, 26(15), 1819-1834.
- Riemeier, T., Fleischhauer, C. R., & von Auschnaiter, C. (2010). *How dos student's argumentation depend on their conceptual understanding and vice versa?* Paper presented at the The Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching, Philadelphia, 21 a 24 de março.
- Russel, J. W., Kozma, R. B., Jones, T., Wykoff, J., Marx, N., & Davis, J. (1997). Use of simultaneous - synchronized macroscopic, microscopic and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 74(3), 330-334.

- Sá, L. P., & Queiroz, S. L. (2007). Promovendo a argumentação no ensino superior de química. *Química Nova*, 30, 2035-2042.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh grade students. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1205-1225.
- Sampson, V., & Clark, D. (2008). Assessment of the Ways Students Generate Arguments in Science Education: Current Perspectives and Recommendations of Future Directions. *Science Education*, 92(3), 447-472.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding Student's Practical Epistemologies and Their Influence on Learning Through Inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2008). What Can Argumentation Tell Us About Epistemology? In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 71-90). Dordrecht: Springer.
- Sasseron, L. H. (2008). *Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula*. Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Schön, D. A. (1991). *The Reflective Practitioner - How professionals think in action* (2nd ed.). London: Ashgate.
- Schwarz, B. B. (2009). Argumentation and Education: Theoretical Foundations and Practices. In N. M. Mirza & A.-N. Perret-Clermont (Eds.), *Argumentation and Learning* (pp. 91-126). Dordrecht: Springer.
- Silva, A. P. S. (2010). *Situações argumentativas no ensino de Ciências da Natureza: Um estudo de práticas de um professor em formação inicial em uma sala de aula de Educação de Jovens e Adultos*. Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Simon, S., Erduran, S., & Osborne, J. (2006). Learning to Teach Argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 235-260.
- Simonneaux, L. (2008). Argumentation in Socio-Scientific Contexts. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 179-200). Dordrecht: Springer.
- Solbes, J., Ruiz, J. J., & Furió, C. (2010). Debates y argumentación en las clases de física y química. *Alambique*, 63, 65-75.
- Souza, V. C. A., & Justi, R. (2010). Estudo da utilização da modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10(2), 1-26.
- Spradley, J. (1980). *Participant observation*. New York: Holt.
- Taber, K. S. (1994). Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry*, 31, 100-103.
- Taber, K. S. (1997). Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework? *School Science Review*, 78, 85-95.
- Taber, K. S. (2000). Trainee Science Teachers' Conceptions of Chemical Stability. Retrieved 23/10/2007, from <http://www.leeds.ac.uk/educol>
- Talanquer, V. (2010). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.
- Tavares, M. L., Jiménez-Aleixandre, M. P., & Mortimer, E. F. (2010). Articulation of Conceptual Knowledge and Argumentation by High School Students in Evolution Problems. *Science & Education*, 19(6-8), 573-598.

- Teichert, M. A., & Stacy, A. M. (2002). Promoting understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 464 - 496.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of Argument*. New York: Cambridge University Press.
- Venville, G. J., & Vaille, M. D. (2010). The impact of a classroom intervention on grade 10 students' argumentation skills, informal reasoning and conceptual understanding of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 952-977.
- Vieira, R. D., & Nascimento, S. S. (2009). Uma proposta de critérios marcadores para identificação de situações argumentativas em salas de aula de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 26(1), 81-102.
- von Auschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 101-131.
- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 353-368). New York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual change to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213-1230.
- Voss, J., & van Dyke, J. A. (2001). Argumentation in Psychology: Backgrounds Comments. *Discourse Processes*, 32(2&3), 89-111.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind and Society: The development of higher mental processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Walton, D. N. (1996). *Argumentation Schemes for Presumptive Reasoning*. Mahwah: Erlbaum.
- Walton, D. N., Reed, C., & Macagno, F. (2008). *Argumentation Schemes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wenzel, J. W. (1990). Three Perspectives on Argument: Rhetoric, Dialectic, Logic. In R. Trapp & J. Schuetz (Eds.), *Perspectives of argumentation: Essays in honour of Wayne Brockriede* (pp. 9-26). New York: Waveland.
- Windschitl, M., Thompson, M. B., & Braathen, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, 92, 941-967.
- Wong, S. L., & Hodson, D. (2010). More from the Horse's Mouth: What scientists say about science as a social practice. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1431-1463.
- Zeidler, D. L. (1997). The Central Role of Fallacious Thinking in Science Education. *Science Education*, 81(4), 483-496.
- Zohar, A. (2004). *Higher Order Thinking in Science Classrooms: Student's Learning and Teacher's Professional Development*. Dordrecht: Kluwer.
- Zohar, A. (2008). Science Teacher Education and Professional Development in Argumentation. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 245-268). Dordrecht: Springer.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering Student's Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35-62.

APÊNDICE 1: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO À DIREÇÃO

Ilma Sra.,
Prof(a). X.
Diretora da Escola W

Prezada professora,

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.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de doutorado Paula Cristina Cardoso Mendonça em uma das turmas de segunda série da professora Y. Esta pesquisa tem o título de *“Influência de Atividades de Modelagem na Qualidade dos Argumentos de Estudantes de Química do Ensino Médio”* e terá como objetivo analisar os argumentos construídos por alunos quando imersos em atividades cujo foco é a construção, reformulação e validação de modelos. A argumentação é importante para que eles adquiram noções coerentes sobre natureza do conhecimento científico e para assumirem uma postura mais crítica enquanto cidadãos ao emitirem juízos embasados em evidências.

Essas atividades serão parte das atividades regulares desenvolvidas pela professora em suas aulas de Química.

Como em situações anteriores, para a realização da pesquisa, as aulas nas quais as estratégias de ensino forem desenvolvidas 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 antes que ele seja devolvido aos mesmos (a fim de registrar as ideias dos alunos em determinados momentos do processo). Todo este material será utilizado unicamente para fins de pesquisa, não sendo a identidade da escola, da professora 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 dos alunos.

Entrevistas serão realizadas com alguns estudantes (aqueles que tiverem disponibilidade de tempo) em horários prévios agendados com eles antes do início das aulas de forma a não prejudicá-los.

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, informamos 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,

Profa. Dr. Rosária S. Justi
Pesquisadora responsável

Profa. Ms. Paula C. C. Mendonça
Pesquisadora co-responsável

A U T O R I Z A Ç ã O

Após ter sido esclarecida sobre os propósitos e condições de realização da pesquisa *“Influência de Atividades de Modelagem na Qualidade dos Argumentos de Estudantes de Química do Ensino Médio”*, autorizo o desenvolvimento da mesma em uma das turmas de segundo ano deste estabelecimento de ensino.

Diretora da Escola W

APÊNDICE 2: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DIRECIONADO À PROFESSORA

Prezada professora Y,

Uma das maneiras de contribuímos 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 discutido 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 Paula Cristina Cardoso Mendonça. Esta pesquisa tem o título de *“Influência de Atividades de Modelagem na Qualidade dos Argumentos de Estudantes de Química do Ensino Médio”*, e terá como objetivo avaliar os argumentos desenvolvidas por alunos quando imersos em atividades cujo foco é a construção, reformulação e validação de modelos. A argumentação é importante para que os estudantes adquiram noções coerentes sobre natureza do conhecimento científico e para assumirem uma postura mais crítica enquanto cidadãos ao emitirem juízos embasados em evidências.

Essas atividades serão parte das atividades regulares desenvolvidas por você em suas aulas de Química para alunos do 2º ano do ensino médio.

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 ideias dos alunos em determinados momentos do processo). Todo este material será utilizado unicamente para fins de pesquisa, não sendo a identidade da escola, a 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.

Entrevistas serão realizadas com alguns estudantes (aqueles que tiverem disponibilidade de tempo) em horários prévios agendados com eles antes do início das aulas de forma a não prejudicá-los.

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, informamos 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,

Profa. Dr. Rosária S. Justi
Pesquisadora responsável

Profa. Ms. Paula C. C. Mendonça
Pesquisadora co-responsável

A U T O R I Z A Ç Ã O

Declaro que estou suficientemente esclarecida sobre a pesquisa *“Influência de Atividades de Modelagem na Qualidade dos Argumentos de Estudantes de Química do Ensino Médio”*, seus objetivos e metodologia e que concordo com o desenvolvimento da mesma em uma de minhas turmas.

Professora Y

APÊNDICE 3: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DIRECIONADO AOS ALUNOS

Prezado(a) aluno(a) da turma X,

Visando promover melhoras no ensino, a aluna de doutorado Paula Cristina Cardoso Mendonça realizará uma pesquisa a partir das aulas de Química ministradas pela professora Y em sua turma, durante primeiro semestre de 2009. Esta pesquisa tem o título de *“Influência de Atividades de Modelagem na Qualidade dos Argumentos de Estudantes de Química do Ensino Médio”* e terá como objetivo avaliar os argumentos desenvolvidas por alunos quando imersos em atividades cujo foco é a construção, reformulação e validação de modelos. A argumentação é importante para que vocês adquiram noções coerentes sobre natureza do conhecimento científico e para assumirem uma postura mais crítica enquanto cidadãos ao emitirem juízos embasados em evidências.

Essas atividades serão parte das atividades regulares desenvolvidas pela professora Y em suas aulas de Química no 2º ano do ensino médio. Essa estratégia de ensino tem sido utilizada por outros professores há alguns anos e seus resultados, em termos de aprendizagem dos alunos, têm sido excelentes. 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 será copiado (a fim de registrar suas ideias 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 ideias). As entrevistas serão realizadas em horários prévios agendados antes do início das aulas de forma a não prejudicá-los. Todo este material será utilizado unicamente para fins de pesquisa, 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. Informo, ainda, que você pode retirar este consentimento a qualquer momento, sem nenhum prejuízo para você.

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 3499.4592.

Desde já, agradecemos sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

Profa. Dr. Rosária S. Justi

Pesquisadora responsável

Profa. Ms. Paula C. C. Mendonça

Pesquisadora co-responsável

A U T O R I Z A Ç Ã O

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa *“Influência de Atividades de Modelagem na Qualidade dos Argumentos de Estudantes de Química do Ensino Médio”*, 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 de pesquisa.

Caso seja selecionado(a) para participar das entrevistas, concordo que elas sejam realizadas nas dependências da escola em datas a serem combinadas com a pesquisadora co-responsável. Neste caso, concordo também com a utilização das filmagens dessas entrevistas para os fins de pesquisa.

Nome do(a) aluno(a): _____

Assinatura: _____

C.I.: _____

APÊNDICE 4: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DIRECIONADO AOS RESPONSÁVEIS PELOS ALUNOS

Prezados pais ou responsáveis pelos alunos da turma X,

Visando promover melhoras no ensino, a aluna de doutorado Paula Cristina Cardoso Mendonça realizará uma pesquisa a partir das aulas de Química ministradas pela professora Y, na turma X, durante primeiro semestre do ano de 2009. Esta pesquisa tem o título de *“Influência de Atividades de Modelagem na Qualidade dos Argumentos de Estudantes de Química do Ensino Médio”* e terá como objetivo avaliar os argumentos desenvolvidas por alunos quando imersos em atividades cujo foco é a construção, reformulação e validação de modelos. A argumentação é importante para que os estudantes possam adquirir noções coerentes sobre natureza do conhecimento científico e para assumirem uma postura mais crítica enquanto cidadãos ao emitirem juízos embasados em evidências.

Essas atividades serão parte das atividades regulares desenvolvidas pela professora Y em suas aulas de Química para o 2º ano do ensino médio. Essa estratégia de ensino tem sido utilizada por outros professores há alguns anos e seus resultados, em termos de aprendizagem dos alunos, têm sido excelentes. 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 com seus colegas e com a professora) e o material escrito produzido pelos alunos será copiado (a fim de registrar suas ideias 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 ideias). As entrevistas serão realizadas em horários prévios agendados com eles antes do início das aulas de forma a não prejudicá-los. Todo este material será utilizado unicamente para fins de pesquisa, 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 que o aluno pelo qual é responsável participe da pesquisa, seus dados não serão analisados. Informo, ainda, que você pode retirar este consentimento a qualquer momento, sem nenhum prejuízo para o aluno em questão.

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 3499.4592.

Desde já, agradecemos sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

Profa. Dr. Rosária S. Justi

Pesquisadora responsável

Profa. Ms. Paula C. C. Mendonça

Pesquisadora co-responsável

A U T O R I Z A Ç Ã O

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa "*Influência de Atividades de Modelagem no Ensino de Química na Qualidade dos Argumentos de Estudantes de Química do Ensino Médio*", 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 de pesquisa.

Caso esse(a) aluno(a) seja selecionado(a) para participar das entrevistas, concordo que elas sejam realizadas nas dependências da escola 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 de pesquisa.

Nome do(a) aluno(a): _____

Nome do(a) responsável: _____

Assinatura: _____

C.I.: _____

APÊNDICE 5: ATIVIDADES DE MODELAGEM PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS

ATIVIDADE 1 – MODELOS⁶⁴

1. Todos nós temos uma ideia geral sobre o que seja um modelo. Utilizando essa ideia geral, analise os sistemas que lhe serão apresentados e classifique-os como modelos, ou não.

Sistema ⁶⁵	Modelo		Por quê?
	Sim	Não	
Carrinho de brinquedo			
Fórmula química da água: H ₂ O			
Representação da água em bola e varetas no quadro-negro (2D)			
Representação concreta (bola e varetas) da molécula de água (3D)			
Dissolução do permanganato de potássio em água (fenômeno)			
Representação do fenômeno enfocando aspectos macroscópicos (solução homogênea)			
Representação do fenômeno enfocando aspectos microscópicos (interações entre os íons e as moléculas de água)			
Gráfico de velocidade em função do tempo			
Fórmula: $v=d/t$			
Mapa			

2. Analise a tirinha da Mafalda apresentada a seguir:



- a) O que seria um *modelo* para a Mafalda?
 b) E para você o que seria um *modelo*?

⁶⁴ As atividades serão apresentadas sem os espaços que foram disponibilizados aos estudantes para resolução.

⁶⁵ Na atividade entregue aos alunos, não havia identificação dos sistemas. Cada um deles foi apresentado pelo professor, sempre com o cuidado de não fornecer dicas sobre a classificação.

ATIVIDADE 2 – MODELAGEM

Considere a seguinte situação: Foi desenvolvida uma nova cola para papel e madeira, mais poderosa que as colas normais e com secagem instantânea. Contudo, não se sabe qual o mecanismo de funcionamento desta cola, pois nem seus criadores propuseram um mecanismo para seu funcionamento. Portanto, precisamos responder a seguinte questão: “Por que esta cola cola?”.

1. Como a cola é um novo material, esta resposta não está disponível na literatura. Assim, seu papel é solucionar esta questão. Por isso, solicitamos que você **desenvolva um modelo (em nível submicroscópico) que explique como esta cola funciona**. Registre seu modelo no espaço abaixo (através de desenhos e/ou verbalmente).
2. Elaborar um modelo pode não ser uma tarefa simples. E, como em muitas situações, às vezes o processo de elaboração é muito mais importante e/ou rico do que o resultado final. Por isso, independente de qual foi o seu modelo, solicitamos que você descreva minuciosamente os seus passos para propor uma solução para tal problema. Para isso, utilizando o quadro abaixo, **descreva** o que você faria (etapa por etapa) e **apresente uma justificativa** para cada uma dessas etapas. A seguir, **numere** a primeira coluna, indicando a ordem em que agiria. Coloque quantas etapas quiser. Se necessário, acrescente linhas ao quadro.

Ordem	Etapas	Justificativa

ATIVIDADE 3 – ASPECTOS ENERGÉTICOS ENVOLVIDOS NAS LIGAÇÕES QUÍMICAS

Se você observar à sua volta perceberá que a todo instante, substâncias se transformam em outras. Mas, que fatores serão responsáveis por este rearranjo? O que determina a formação de uma substância e não de outra? Nesta atividade você terá a oportunidade de pensar um pouco mais profundamente nas condições que determinam a formação das substâncias.

PARTE A

Procedimento:

- ☆ Prenda um pedaço de fita de magnésio na pinça de madeira.
- ☆ Acenda a vela ou bico de gás e leve este sistema à chama.
- ☆ Quando ocorrer alguma modificação no sistema retire-o da chama.
- ☆ Anote suas observações no quadro 1.
- ☆ O sólido branco formado 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 no quadro 1.

Sistema	Observações	
	Durante o aquecimento	Após o aquecimento
Magnésio		
Óxido de magnésio		

Quadro 1. Observações relativas à queima do 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 no quadro 1, como você pode comparar a estabilidade dos dois sistemas (magnésio e óxido de magnésio)?

PARTE B

- ★ Quando vocês estudaram a Tabela Periódica ficaram 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.
- ★ Vamos pensar, agora, em outros elementos.

Questões:

1. Em que forma (mistura, substância simples, substância composta) são encontrados na natureza:
 - a. o ouro.
 - b. o ferro.
2. a) Você acha que na Lua, ou em outro planeta, esses materiais seriam encontrados na mesma forma que aqui na Terra?
b) Que fatores influenciam a forma como um material é encontrado?

PARTE C☆ Material: “Garrafa Mágica”⁶⁶

☆ 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 no quadro 2.

Momento da observação	Observações
Inicial – Em repouso	
Durante a agitação	
Final – Em repouso	

Quadro 2. Observações relativas ao experimento da garrafa mágica.**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?

⁶⁶ Em um balão de fundo chato de 500 mL, colocar aproximadamente 250 mL da solução obtida dissolvendo-se, em um litro de água, 20 g de hidróxido de sódio, 20 g de dextrose (glicose) e 2 mL de solução a 1% de azul de metileno. O balão deve ser bem tampado de forma que possa ser agitado intensamente. Para que as mudanças de cor ocorram rapidamente, é imprescindível que esta solução tenha sido recentemente preparada.

ATIVIDADE 4 – FORMAÇÃO DE ÍONS

A substância cloreto de sódio, o sal de cozinha, que utilizamos diariamente, é constituída por átomos de sódio (Na) e cloro (Cl). A questão que buscaremos explicar é como o cloreto de sódio é formado a partir das substâncias simples (Na(s) e Cl₂(g)) constituídas por esses átomos. Para isso, nessa atividade, vocês terão de explicar como os íons provenientes dessas substâncias são formados.

Conceitos importantes:

- ☆ Energia de ionização (E.I.) é a energia necessária para retirar os elétrons de um átomo no estado gasoso. Como mais de um elétron pode ser removido de um mesmo átomo tem-se a primeira, segunda, terceira, etc. energia de ionização conforme o elétron removido seja o mais externo, o segundo mais externo e assim por diante, respectivamente.
- ☆ Afinidade eletrônica (A.E.) é a energia liberada por um átomo no estado gasoso quando a ele é adicionado um elétron. No processo, forma-se um íon em fase gasosa.
- ☆ Para se obter Na(g) a partir de Na(s) é necessário fornecer 108kJ de energia a cada mol de Na(s) (calor de sublimação).
- ☆ Para se obter Cl(g) a partir de Cl₂(g) é necessário fornecer 242kJ de energia a cada mol de Cl₂(g) (calor de atomização).
- ☆ Na tabela 1 são fornecidos os valores para a 1ª E.I. e A.E. dos 20 primeiros elementos químicos da tabela periódica.

Número atômico (Z)	Símbolo do elemento	1ª energia de ionização (kJ/mol) $X(g) \rightarrow X^+(g) + e^-$	Afinidade eletrônica (kJ/mol) $X(g) + e^- \rightarrow X^-(g)$
1	H	1311	72
2	He	2372	-54
3	Li	520,0	57
4	Be	899,1	-66
5	B	800,5	15
6	C	1086	121
7	N	1403	-31
8	O	1410	142
9	F	1681	333
10	Ne	2080	-99
11	Na	495,8	21
12	Mg	735,5	-67
13	Al	577,5	26
14	Si	786,3	135
15	P	1012	60
16	S	999,3	200
17	Cl	1255	348
18	Ar	1520	-70
19	K	418,7	12
20	Ca	589,6	-50

Tabela 1. 1ª E.I. e A.E. dos 20 primeiros elementos da tabela periódica. (Fonte: Inorganic energetics, Dasent, 1970).

1. Analisando os valores da tabela e lembrando que um íon é uma espécie carregada positiva ou negativamente, proponha um modelo que explique como cada um desses tipos de íons é formado.
2. a) Qual é o íon de Na mais estável formado a partir da substância Na(s)? Por quê?
b) Qual o valor energético envolvido na formação de um mol desse íon?
3. a) Qual é o íon de Cl mais estável formado a partir da substância Cl₂(g)? Por quê?
b) Qual o valor energético envolvido na formação de um mol desse íon?

ATIVIDADE 5 – MODELO PARA O CLORETO DE SÓDIO

Na atividade anterior vocês propuseram um modelo para a formação de íons. A próxima questão a ser explicada é relativa à maneira que esses íons interagem levando a formação do cloreto de sódio. Nessa atividade, vocês deverão propor um modelo que explique a interação entre os íons que vocês propuseram anteriormente.

1. Considere um sistema formado de água e dos íons Na^+ e Cl^- . Desenhe um modelo que represente tal sistema.
2. a. O que acontece no sistema à medida que a água vai evaporando até secar?
Construa um modelo que represente suas ideias.
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 6 – TESTE 1 (TEMPERATURA DE FUSÃO) DO MODELO PARA O CLORETO DE SÓDIO

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 7 – TESTE 2 (ASPECTOS ENERGÉTICOS) DO MODELO PARA O CLORETO DE SÓDIO

Discutimos inicialmente que para que uma substância exista é necessário que ela seja mais estável do que os átomos isoladamente (Atividade 3). No caso do sal de cozinha, formado a partir dos íons Na^+ e Cl^- , este aspecto pode ser comprovado através de dados empíricos. Se o processo de formação de pares de partículas de cloreto de sódio acontecesse a partir de um mol de íons Na^+ e um mol de íons Cl^- uma quantidade de energia igual a 104,5 Kcal/mol de cloreto de sódio formado seria liberada. Entretanto, quando a substância cloreto de sódio é formada, obtém-se experimentalmente que a quantidade de energia liberada é de 206 kcal/mol.

1. Com base nessas informações, proponha um modelo que explique a atração entre os íons Na^+ e Cl^- levando a formação do cloreto de sódio.
 - a) Faça um desenho do modelo construído por seu grupo. Caso julgue necessário, explique por escrito algum detalhe do seu desenho.
 - b) Justifique a escolha do material utilizado (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).
 - c) Descreva, da maneira mais detalhada possível, todos os passos que você seguiu desde a leitura do item (a) até a conclusão da elaboração de seu modelo.
2. O modelo construído nessa atividade é apenas uma modificação do modelo construído anteriormente (Atividade 5 ou 6) ou é um novo modelo diferente do anterior? Justifique a opção do grupo.

ATIVIDADE 8 – AMPLIANDO O CONHECIMENTO

1. Um grande número de minerais (calcita, rutilo, mica, berilo, etc.) são constituídos por ligações semelhantes às presentes na substância cloreto de sódio. Através do uso de seu novo modelo para o cloreto de sódio explique certas características dos minerais:
 - a) Tem dureza significativa.
 - b) São quebradiços.
 - c) Apresentam plano de clivagem.
- 2) Na atividade 4 você calcularam o gasto energético na formação de íons sódio e cloreto a partir das substâncias simples Na(s) e Cl₂(g). Através das atividades de modelagem foi possível concluir que esses íons interagem levando a formação de uma rede. O próximo passo a seguir será calcular a energia dessa rede para o cloreto de sódio. Para isso complete a tabela:

Etapa	Processo	Variação energética (kJ/mol)
I- Sublimação	$\text{Na(s)} \rightarrow \text{Na(g)}$	
II – Energia de ionização	$\text{Na(g)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + \text{e}$	
III - Atomização	$\frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{e} \rightarrow \text{Cl}(\text{g})$	
IV – Afinidade eletrônica	$\text{Cl}(\text{g}) + \text{e} \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$	
V – Energia de rede	$\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$	X
Processo global	$\text{Na(s)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$	-411

Com base nos seus cálculos e nos dados da tabela, calcule x (energia de rede para 1 mol de NaCl). Interprete o significado físico desse cálculo.

APÊNDICE 6: ATIVIDADES DE MODELAGEM PARA O ENSINO DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES

ATIVIDADE 1 – PREVISÕES A PARTIR DO AQUECIMENTO DO 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-a 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 – ELABORAÇÃO DE MODELOS PARA O AQUECIMENTO DE IODO E GRAFITE

Seu grupo receberá diversos tipos de materiais como: bolinhas de isopor, palitos de dente, massinha, lápis de cor 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 – TESTE DO MODELO A PARTIR DA OBSERVAÇÃO DA REAÇÃO DO IODO COM 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.

Antes que você realize o teste, responda:

1. 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 – ABRANGÊNCIAS E LIMITAÇÕES DO MODELO

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 – AMPLIANDO O CONHECIMENTO

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 fusão (°C)	Temperatura ebulição (°C)
Oxigênio	O ₂	- 218	- 183
Cloro	Cl ₂	-102	-34
Flúor	F ₂	- 223	- 187
Metano	CH ₄	-182	-162
Amônia	NH ₃	-78	-33
Álcool comum	C ₂ H ₅ OH	- 117	78,3
Acetona	C ₃ H ₆ O	- 95	56,1
Bromo	Br ₂	- 7,3	58,8
Água	H ₂ O	0	100
Naftaleno	C ₁₀ H ₈	80	218
Iodo	I ₂	114	183
Açúcar	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	185/186	-

Fonte: *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.

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?

APÊNDICE 7: VERSÕES REFORMULADAS DAS ATIVIDADES DA ESTRATÉGIA DE ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS

Observação: Em todas as atividades, as partes reformuladas estão assinaladas em azul.

ATIVIDADE 3

Se você observar à sua volta perceberá que a todo instante, substâncias se transformam em outras. Mas, que fatores serão responsáveis por este fenômeno? O que determina a formação de uma substância e não de outra? Nesta atividade você terá a oportunidade de pensar um pouco mais profundamente nas condições que determinam a formação das substâncias.

PARTE A

☆ Procedimento:

1. Prenda um pedaço de fita de magnésio no clips.
2. Prenda o clips na pinça de madeira na região oposta à que se encontra o magnésio.
3. Acenda a vela e leve este sistema à chama.
4. Quando ocorrer alguma modificação no sistema retire-o da chama.
5. Anote suas observações no quadro 1.
6. 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.
7. Anote suas observações no quadro 1.

Quadro 1. Observações relativas à queima do magnésio.

Sistema	Observações	
	Durante o aquecimento	Após o aquecimento
Magnésio		
Óxido de magnésio		

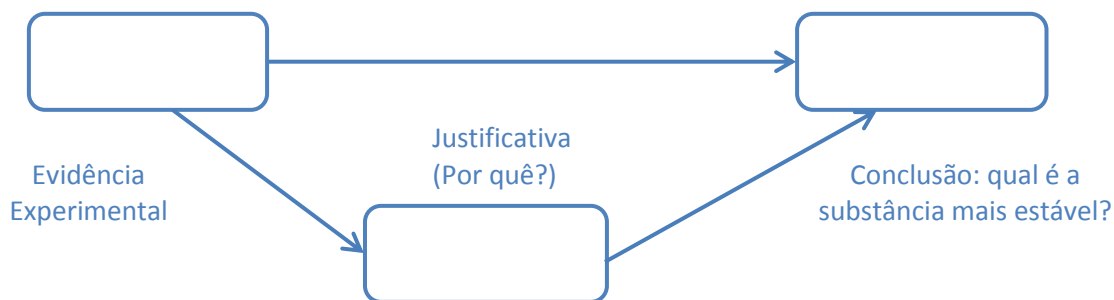
Questões:

1. Quando o magnésio é aquecido, aparece uma luz. O que o aparecimento dessa luz indica?
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 antigas. Como você explica a ocorrência dessa transformação na ausência de fogo?
5. Revendo as observações anotadas no quadro 1, como você pode comparar a estabilidade dos dois sistemas (magnésio e óxido de magnésio)?

6. Se você acha que o óxido de magnésio é mais estável do que o magnésio, cite uma evidência experimental que comprova sua afirmativa.

7. Se você acha que o magnésio é mais estável do que o óxido de magnésio, cite uma evidência experimental que comprova sua afirmativa.

8. Organize suas ideias relativas à queima do magnésio e à estabilidade do magnésio e do óxido de magnésio no seguinte esquema:



PARTE B

Sabemos que a grande parte 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.

Questões:

1. Em que forma (mistura, substância simples, substância composta) são encontrados na natureza:

a. o ouro.

b. o ferro.

2. Você acha que na Lua, ou em outro planeta, esses materiais seriam encontrados na mesma forma que aqui na Terra?

3. Que fatores influenciam a forma como um material é encontrado?

PARTE C

☆ Material: "Garrafa Mágica"

☆ Procedimento:

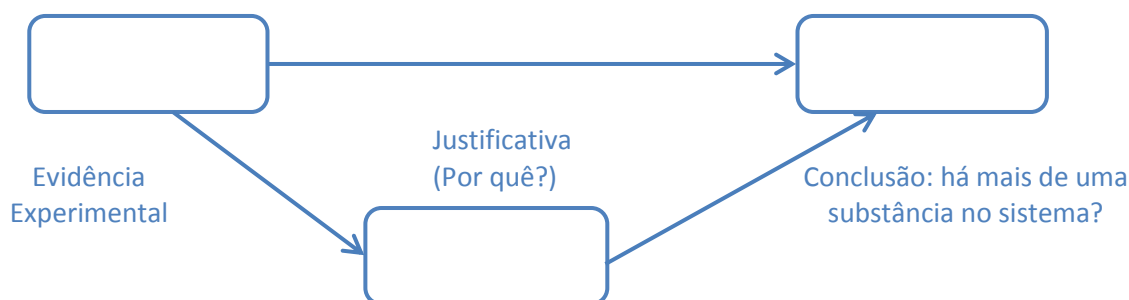
1. Segure a garrafa com uma das mãos, firmando a rolha ou tampa.
2. Agite-a vigorosamente por aproximadamente 20 segundos e observe o que acontece. Anote suas observações no quadro 2.
3. Deixe a "garrafa" em repouso e observe o que acontece. Anote suas observações no Quadro 2.

Quadro 2. Observações relacionadas ao sistema “garrafa mágica”.

Momento da observação	Observações
Inicial – Em repouso	
Durante a agitação	
Final – Em repouso	

Questões:

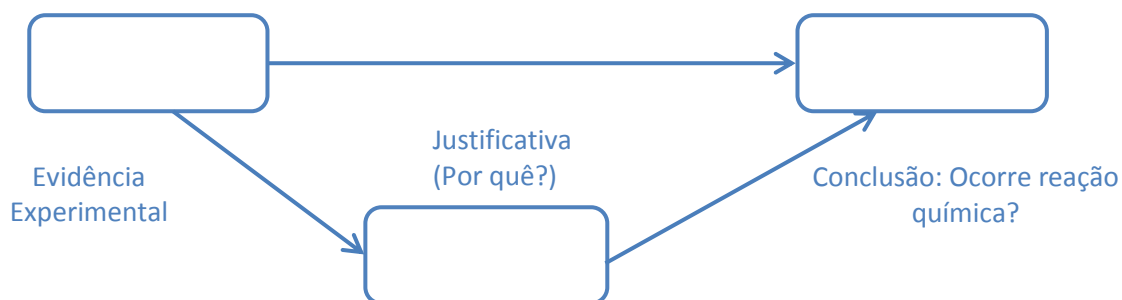
1. Você acha que neste sistema há mais de uma substância (além da água)? Por quê? Esquematize suas ideias.



2. Imagine que, em sua turma, haja discordância de conclusão em relação ao sistema ser formado por uma ou mais de uma substância (além da água). Complete o quadro a seguir, apresentando pelo menos uma justificativa para cada conclusão.

Conclusão 1:	Conclusão 2:
Justificativa:	Justificativa:

3. Considerando o quadro da questão anterior, qual a conclusão final do seu grupo em relação à quantidade de substâncias presentes no sistema? Por que vocês chegaram a essa conclusão?
4. Você acha que neste sistema ocorre uma reação química? Por quê? Esquematize suas ideias.



5. Imagine que, em sua turma, haja discordância de conclusão quanto à ocorrência ou não de reação química. Complete o quadro a seguir, apresentando pelo menos uma justificativa para cada conclusão.

Conclusão 1:	Conclusão 2:
Justificativa:	Justificativa:

6. Considerando o quadro da questão anterior, qual a conclusão final do seu grupo? Por que vocês chegaram a essa conclusão?
7. 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?
8. Com base no que foi discutido em todas as partes desta Atividade, como você relaciona a energia envolvida em um sistema com a formação de substâncias naquele sistema?

ATIVIDADE 4

A substância cloreto de sódio, o sal de cozinha, que utilizamos diariamente, é constituída por átomos de sódio (Na) e cloro (Cl). A questão que buscaremos explicar é como o cloreto de sódio é formado a partir das substâncias simples (Na(s) e Cl₂(g)) constituídas por esses átomos. Para isso, nessa atividade, vocês trabalharão na construção de um modelo para explicar a formação de íons.

Conceitos importantes:

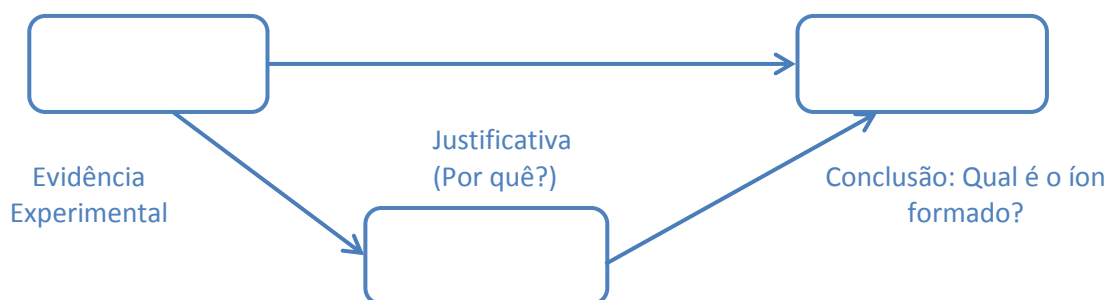
- ☆ Energia de ionização (E.I.) é a energia necessária para retirar os elétrons de um átomo no estado gasoso. Como mais de um elétron pode ser removido de um mesmo átomo tem-se a primeira, segunda, terceira, etc. energia de ionização conforme o elétron removido seja o mais externo, o segundo mais externo e assim por diante, respectivamente.
- ☆ Afinidade eletrônica (A.E.) é a energia liberada por um átomo neutro no estado gasoso quando a ele é(são) adicionado(s) elétron(s) para formação do íon negativo mais estável. Na tabela 1 são fornecidos os valores para 1ª, 2ª e 3ª. E.I. e A.E. dos 20 primeiros elementos químicos da tabela periódica, exceto gases nobres.

Tabela 1. Valores de E.I. e A.E. dos 20 primeiros elementos da tabela periódica, exceto gases nobres. Fonte: Handbook of Chemistry and Physics, Edição 2009-2010, Editor David R. Lide, Editora: Boca Raton.

Número atômico (Z)	Símbolo do elemento	1ª energia de ionização (kJ/mol) $X(g) \rightarrow X^+(g) + e^-$	2ª energia de ionização (kJ/mol) $X^+(g) \rightarrow X^{2+}(g) + e^-$	3ª energia de ionização (kJ/mol) $X^{2+}(g) \rightarrow X^{3+}(g) + e^-$	Afinidade eletrônica (kJ/mol) $X(g) + ne^- \rightarrow Xn^-(g)$
3	Li	520,0	-	-	59,8
4	Be	899,2	-	-	N.E*
5	B	799,8	2426,5	3656,6	27,0
6	C	1080,6	2352,2	4619,5	121,6
7	N	1401,8	2855,8	4577,0	N.E*
8	O	1313,1	3396,1	5299,7	140,9
9	F	1680,7	3373,9	6049,3	328,0
11	Na	494,9	4561,6	6909,9	53,1
12	Mg	737,1	1450,1	7731,9	N.E*
13	Al	576,9	1815,7	2743,9	41,5
14	Si	786,3	1576,5	3231,1	134,1
15	P	1011,1	1906,4	2920,4	72,4
16	S	999,5	2250,9	3356,5	200,7
17	Cl	1250,4	2297,2	3821,6	348,3
19	K	418,7	3054,6	4418,8	48,2
20	Ca	589,5	1145,2	4911,8	1,9

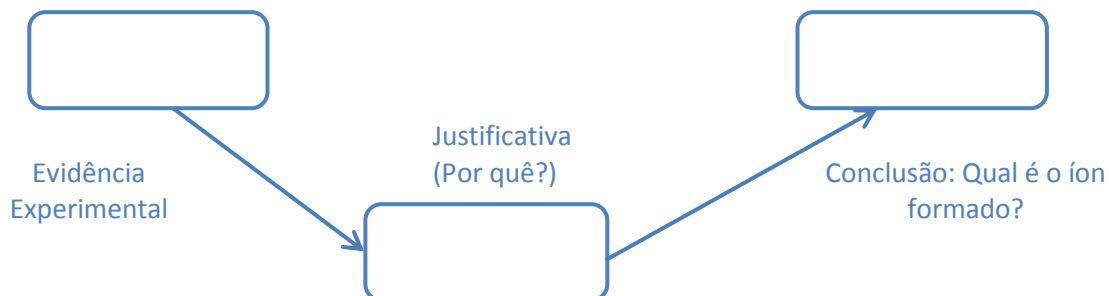
*N.E. (Não estável, ou seja, não foi verificado experimentalmente).

4. 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.
5. a) Qual é o íon de Na mais estável formado a partir da substância Na(s)? Quais dados lhe possibilitaram chegar a essa conclusão? Por quê? Esquematize suas ideias.



b) Considere que para se obter Na(g) a partir de Na(s) é necessário fornecer 108kJ de energia a cada mol de Na(s) (energia conhecida como calor de sublimação). Com base nesse dado e naqueles apresentados na tabela 1, qual o valor de energia envolvido na formação de um mol desse íon?

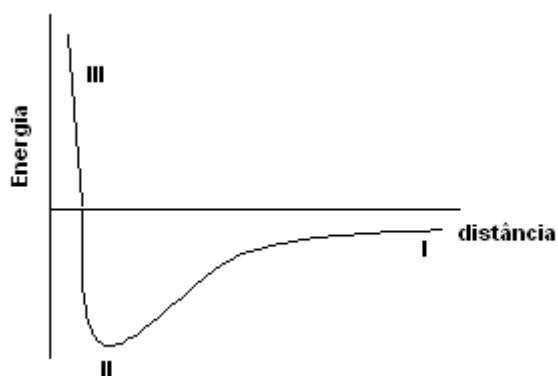
6. a) Qual é o íon de Cl mais estável formado a partir da substância Cl₂(g)? Quais dados lhe possibilitaram chegar a essa conclusão? Por quê? Esquematize suas ideias.



b) Considere que para se obter Cl(g) a partir de Cl₂(g) é necessário fornecer 242kJ de energia a cada mol de Cl₂(g) (energia conhecida como calor de atomização). Com base nesse dado e naqueles apresentados na tabela 1, qual o valor de energia envolvido na formação de um mol desse íon?

ATIVIDADE 5

- ★ Na atividade anterior seu grupo propôs um modelo para a formação de íons. O próximo aspecto a ser explicado é relativo à maneira que esses íons interagem levando a formação do cloreto de sódio. Nesse sentido, nessa atividade, cada grupo deverá propor um modelo que explique a interação entre os íons propostos anteriormente.
- 1) Considere um sistema formado de água e dos íons Na^+ e Cl^- . Desenhe um modelo que represente tal sistema no nível [submicroscópico](#).
 - 2) O que acontece no sistema à medida que a água vai evaporando até secar? Construa um modelo que represente o sistema final.
 - 3) Faça um desenho do modelo construído por seu grupo. Caso julgue necessário, explique por escrito algum detalhe do seu desenho.
 - 4) Justifique a escolha do material utilizado [na construção do modelo concreto](#) (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).
 - 5) Qual deve ser o tipo de interação entre esses íons? [Por quê?](#)
 - 6) 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?



Dica: Para responder esta questão, leve em consideração o gráfico de energia potencial em função da distância entre átomos para a formação do cloreto de sódio.

ATIVIDADE 7

- ★ Discutimos inicialmente que para que uma substância exista é necessário que ela seja mais estável do que os átomos isoladamente (Atividade 3). No caso do sal de cozinha, formado a partir dos íons Na^+ e Cl^- este aspecto pode ser comprovado através de dados empíricos. Se o processo de formação de pares de partículas de cloreto de sódio acontecesse a partir de um mol de íons Na^+ e um mol de íons Cl^- uma quantidade de energia igual a 104,5 Kcal/mol de cloreto de sódio formado seria liberada. Entretanto, quando a substância cloreto de sódio é formada, obtém-se experimentalmente que a quantidade de energia liberada é de 206 kcal/mol.
1. Seu modelo explica esses dados experimentais? Por quê? (Caso não explique, passe para a [questão 4](#)).
 2. Suponha que você tenha que convencer seus colegas, que pensam de forma diferente de você, de que seu modelo é capaz de explicar a formação e constituição do NaCl. Qual(is) [evidência\(s\) experimental\(is\)](#) você usaria para demonstrar o que seu modelo é capaz de explicar?
 3. Esquematize suas ideias de forma a tentar convencer seus colegas de que seu modelo é satisfatório para explicar a formação e constituição do NaCl. Utilize quantas evidências julgar necessárias.
 4. Caso seu modelo não explique os dados experimentais, construa um novo modelo que seja capaz de explicá-los.
 5. Justifique a escolha do material utilizado (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).
 6. Suponha que você tenha que convencer seus colegas, que pensam de forma diferente de você, de que seu novo modelo é capaz de explicar a formação e constituição do NaCl. Qual(is) [evidência\(s\) experimental\(is\)](#) você usaria para demonstrar o que seu novo modelo é capaz de explicar?
 7. Esquematize suas ideias de forma a tentar convencer seus colegas de que seu novo modelo é satisfatório para explicar a formação e constituição do NaCl. Utilize quantas evidências julgar necessário.

APÊNDICE 8: VERSÕES REFORMULADAS DAS ATIVIDADES DA ESTRATÉGIA DE ENSINO DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES

Observação: Em todas as atividades, as partes reformuladas estão assinaladas em azul.

ATIVIDADE 2

- ★ Seu grupo receberá diversos tipos de materiais como: bolinhas de isopor, palitos de dente, massinha, lápis de cor 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.**
 - 4) Como seu modelo explica o fato de o iodo voltar ao estado sólido quando é resfriado?

ATIVIDADE 3

- ★ 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? Por quê? (Caso não, passe para a [questão 4](#)).
 - 3) Como você convenceria um colega, que tenha proposto um modelo para o iodo diferente do seu, de que seu modelo é o mais correto?
 - 4) Caso seu modelo não seja capaz de explicar as observações, reformule-o.
 - 5) Como o novo modelo é capaz de explicar essas observações?
 - 6) Como você convenceria um colega, que tenha proposto um modelo para o iodo diferente do seu, de que seu novo modelo é o mais correto?
-
- 4) Como seu modelo explica o fato de o iodo voltar ao estado sólido quando é resfriado?

ATIVIDADE 3

- ★ 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:

- 7) As observações feitas através do teste realizado estão de acordo com o que seu grupo previu?
- 8) Seu modelo é capaz de explicar essas observações? Por quê? (Caso não, passe para a [questão 4](#)).
- 9) Como você convenceria um colega, que tenha proposto um modelo para o iodo diferente do seu, de que seu modelo é o mais correto?
- 10) Caso seu modelo não seja capaz de explicar as observações, reformule-o.
- 11) Como o novo modelo é capaz de explicar essas observações?
- 12) Como você convenceria um colega, que tenha proposto um modelo para o iodo diferente do seu, de que seu novo modelo é o mais correto?