

PROPOSTA DE ENSINO PARA INTRODUÇÃO AO TEMA INTERAÇÕES INTERMOLECULARES VIA MODELAGEM

MODELLING-BASED TEACHING FOR INTRODUCING THE THEME INTERMOLECULAR INTERACTIONS

Nilmara Braga Mozzer¹
Ariadne dos Santos Queiroz²
Rosária da Silva Justi³

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Educação, Faculdade de Educação, nilmarab@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Educação, Faculdade de Educação, ariadneq@terra.com.br

³ Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química e Programa de Pós-graduação em Educação, Faculdade de Educação, rjusti@ufmg.br

Resumo

A aprendizagem do tema interações intermoleculares apresenta dificuldades relacionadas ao nível de abstração exigido dos estudantes. Pesquisas realizadas na área de educação em ciências têm apontado diversas concepções alternativas de alunos que vivenciaram o ensino tradicional do tema. Com o objetivo de investigar a contribuição que o ensino fundamentado em modelagem pode trazer a essa aprendizagem, elaborou-se uma estratégia de ensino em que as atividades se basearam em uma proposição teórica para processo de modelagem como vivido pelos cientistas. Tal estratégia foi investigada a partir de uma pesquisa-ação em uma sala de aula do 1º ano do ensino médio. Este trabalho discute as etapas que fundamentaram a elaboração dessa estratégia para introdução ao tema interações intermoleculares e os resultados obtidos na pesquisa – que apontam para uma aprendizagem significativa dos alunos.

Palavras-chave: ensino de química, modelagem, interações intermoleculares, ligação covalente.

Abstract

The learning of intermolecular interactions presents difficulties to students related to the level of abstraction required for its understanding. Research in science education has made it evident that students who learn from traditional teaching have developed several alternative conceptions. By aiming at investigating the contribution that modelling-based teaching can bring to students' learning, we developed a teaching strategy from a theoretical framework for scientists' modelling process. Its use was investigated from an action-research in a class of 1st year medium level. This paper discusses the stages that based the development of the teaching strategy for the introduction of the theme intermolecular interactions and the results reached from the analysis of the data – that point out to students' meaningful learning.

Keywords: chemistry teaching, modeling, intermolecular interactions, covalent bonding.

INTRODUÇÃO

MODELOS E MODELAGEM NO ENSINO DE QUÍMICA

Segundo Gilbert (1993), *modelo* é uma representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema que pode ser usada para fazer previsões, guiar pesquisas, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação.

Seu papel como ferramenta de fundamental importância no entendimento e comunicação da química, tem sido reconhecido por inúmeras pesquisas (Coll, 2006; Justi & Gilbert, 2006). Essas pesquisas destacam também sua relevância no processo de ensino e aprendizagem dessa ciência repleta de abstrações, deduções e previsões.

Neste sentido, o processo de modelagem¹ apresenta-se como uma alternativa para o ensino de Química, que se contrapõe à ênfase na memorização desvinculada de significado, freqüentemente observada no ensino tradicional. Além disso, o ensino fundamentado em atividades de modelagem insere-se no contexto de abordagens atuais que valorizam o conhecimento do estudante e a compreensão significativa dos conteúdos.

Os PCN+ (Brasil, 2002) destacam que algumas das competências gerais a serem desenvolvidas na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, relacionam-se aos domínios da **investigação e compreensão**: o uso de idéias, conceitos, leis, modelos e procedimentos científicos. Mais especificamente, espera-se que o ensino de química forneça condições para o aluno “*reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos para situações-problema, fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos*” (p. 91).

A promoção de atividades de modelagem no contexto escolar se apresenta como uma boa alternativa na busca de atingir esses objetivos, uma vez que engaja professores e alunos num processo de ensino e aprendizagem dinâmico e enriquecedor. Através destas atividades, estudantes podem se tornar capazes de conhecer os principais modelos da química; desenvolver uma visão adequada da natureza dos modelos; apreciar o papel dos modelos na credibilidade e disseminação dos produtos da investigação química, ao criar e expressar seus próprios modelos (Justi & Gilbert, 2002), reconhecendo sua validade e poder de predição. Além disso, professores podem ter em suas mãos oportunidades valiosas de monitorar as mudanças nos modelos inicialmente desenvolvidos por seus alunos, compreendendo e investigando como eles desenvolvem tais modelos (Duit e Glynn apud Justi & Gilbert (2006)) e, de certo modo, como se desenvolve sua aprendizagem da ciência.

Acreditando na validade dessas atividades como partes de um processo de ensino e aprendizagem eficaz, discutimos nesse artigo os resultados da aplicação de uma estratégia de ensino para a introdução ao tema interações intermoleculares baseada em modelagem.

INTERAÇÕES INTERMOLECULARES NO ENSINO DE QUÍMICA

Segundo o PCN+ (2002), “a Química deve ser apresentada e estruturada sobre o tripé: *transformações químicas, materiais e suas propriedades e modelos explicativos*” (p. 87).

Dentro dessa perspectiva, o tema interações intermoleculares apresenta-se como chave para a compreensão de propriedades dos materiais tais como: temperatura de fusão e ebulição, solubilidade, densidade e viscosidade, além de permear diversos campos do conhecimento.

Na instrução tradicional do tema, promovida por professores com auxílio dos livros-texto, são apresentados aos estudantes, de forma declarativa, modelos prontos baseados em proposições do conhecimento científico, dos quais ele desconhece as origens e fundamentos. A partir daí, como produtos de suas incompreensões, podem surgir concepções alternativas.

¹ Aqui entendido como o processo de elaborar e testar modelos.

Analisando pesquisas realizadas na área de educação sobre o tema interações intermoleculares, pudemos detectar as principais concepções alternativas dos alunos, das quais destacamos:

- Igualdade das forças intermoleculares com as ligações covalentes intramoleculares ou com grandes forças existentes na rede de um sólido covalente (Nakhleh, 1992; Peterson & Treagust, 1989);
- visão das ligações químicas como entidades físicas (Boo, 1998);
- idéia de que, para serem formadas, as ligações químicas requerem energia e, para serem quebradas, liberam energia (Boo, 1998).

Dentre essas concepções, a que aparece com maior frequência entre os alunos é a que diz respeito à confusão entre interações interatômicas e intermoleculares. Isso pôde ser detectado por nós através de nossa experiência em sala de aula e de discussões com outros professores da área.

Essas evidências nos despertaram para a necessidade da melhora do processo de ensino e aprendizagem do conteúdo e nos motivaram a nos engajar em um projeto de formação de professores desenvolvido na Universidade Federal de Minas Gerais². Tivemos, então, a oportunidade de discutir vários aspectos relacionados a modelos e modelagem, principalmente a importância da utilização dos mesmos no ensino, de forma que ele possa resultar em uma aprendizagem mais ampla e significativa dos alunos. Numa das etapas desse projeto, elaboramos a estratégia de ensino discutida nesse artigo.

ELABORAÇÃO DA ESTRATÉGIA FUNDAMENTADA EM MODELAGEM

A estratégia de ensino cujas etapas de elaboração serão aqui descritas, se originou da necessidade de se desenvolver uma abordagem que facilitasse a aprendizagem de interações intermoleculares. Ela foi baseada no diagrama Modelo de Modelagem (Justi & Gilbert, 2002, p. 371), desenvolvido como uma estrutura geral para o processo de modelagem vivido por cientistas. Nesse sentido, o diagrama não pretende oferecer uma descrição fiel de como todos os cientistas trabalham – algo que seria impossível em função da complexidade do processo de produção do conhecimento e de idiosincrasias da produção do conhecimento em diferentes áreas. Seu objetivo principal foi identificar etapas necessárias e inerentes ao processo de elaboração de modelos.

Segundo a proposta do diagrama, a construção de um modelo começa com a definição de seus objetivos (o que o modelo pretende descrever, explicar ou prever sobre uma dada entidade) e a delimitação de seu contexto (que aspectos da entidade modelada serão contemplados pelo modelo). Os objetivos definidos deverão guiar a obtenção inicial de informações sobre a entidade modelada, o que está representado no diagrama como “ter experiências com o alvo”. Simultaneamente, ocorre a seleção dos aspectos da realidade que serão usados para descrever o alvo (“selecionar a origem” para o modelo). Elabora-se então um “modelo mental” inicial. Esse estágio do processo é caracterizado por intensas relações entre todos os elementos definidos. O modelo mental produzido deverá então ser “expresso” em algum modo de representação (material, visual, verbal ou matematicamente), momento que pode levar a modificações do modelo mental. O próximo estágio é testar o modelo proposto, o que pode se dar por meio de “experimentos mentais” (conduzidos na mente) e/ou “testes empíricos” (idealização e condução de práticas, coleta e análise de dados, avaliação dos resultados produzidos à luz das previsões do modelo). Se o modelo falhar quanto às previsões que basearam os testes, deve ser modificado a fim de que possa reentrar no ciclo. Em casos extremos, quando os testes apontam para sérios problemas no modelo, este pode ser rejeitado. Como consequência,

² Formação de Professores e Ensino de Química através de Modelos – Investigações a partir de pesquisa-ação”, coordenado pela professora Rosária Justi, do Núcleo de Pesquisa em Ensino de Química.

ocorrerá uma reconsideração radical dos elementos do estágio inicial. Se, por outro lado, a fase de testes ocorre com sucesso, o propósito para o qual o modelo foi construído foi alcançado. Resta ao seu elaborador convencer outros do valor do modelo, oportunidade em que também são consideradas suas “abrangências e limitações” (o que o modelo explica, e o que não consegue explicar) (Ferreira & Justi, 2007).

Para a elaboração da estratégia de ensino, buscamos apoio no diagrama acima citado no sentido de orientar nossas escolhas e ações, visando promover uma situação em que os alunos vivessem diversas etapas do processo de modelagem.

Tendo em mente que a elaboração de estratégias como essa pode e deve mediar o ensino de diversos temas de ciências, em geral, e de química, em particular, bem como funcionar como subsídio para outros professores desenvolverem atividades de ensino nessa perspectiva, descreveremos aqui, de uma maneira mais ampla, as etapas gerais que fundamentam a elaboração desta atividade de modelagem.

Em uma *primeira etapa*, identificamos as possíveis concepções alternativas dos estudantes sobre o tema interações intermoleculares, através de dados constantes na literatura e de nossas próprias experiências como professoras. Essa etapa, em conjunto com o estabelecimento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre conceitos pré-requisitos, foi especialmente importante para a fundamentação e o desenvolvimento de toda a atividade. Isto porque tais concepções podem estar presentes durante todo o processo e o professor deve ser capaz de identificá-las, para que possa planejar como interferir adequadamente quando elas se mostrarem presentes.

A consciência dos conhecimentos prévios dos alunos faz-se necessária para que o professor tenha certeza de que os alunos são capazes de realizar as atividades propostas e para que possa acompanhar os avanços com relação às possíveis mudanças conceituais.

O desenvolvimento dessa etapa inicial implicou, também, na definição dos objetivos a serem alcançados com a atividade de modelagem.

Estabelecidos os objetivos, selecionamos, numa *segunda etapa*, entre os inúmeros fenômenos e sistemas que o tema interações intermoleculares explica, aquele que era condizente com nossos propósitos para a atividade. Esses podem ter acesso aos fenômenos ou sistemas via observação e/ou realização de experimentos, ou ainda através de textos que apresentem informações relevantes e agucem sua curiosidade. Apesar da existência de todas essas possibilidades, optamos pela via experimental de acesso, pois esta frequentemente facilita o processo de aprendizagem, uma vez que, quase sempre, os estudantes tendem a apresentar dificuldades em relação à abstração necessária para entender os fenômenos, quando esses não lhes são apresentados. Nesse sentido, devido ao caráter observacional e à possibilidade das discussões entre pares, a experimentação pode facilitar a apreensão de informações que, descritas, poderiam não ser bem compreendidas ou até interpretadas de maneira indesejada.

Conscientes de que o professor não tem acesso aos modelos mentais elaborados por seus alunos, na *terceira etapa* selecionamos diversos recursos (materiais ou não) que lhes permitissem expressar seus modelos, comunicando suas idéias.

Na *quarta etapa*, procuramos, a partir da identificação das possíveis idéias dos alunos sobre o fenômeno a eles apresentado, elaborar questões geradoras (perguntas feitas pela professora que permitem aos alunos repensar certos aspectos de seus modelos, sem que se forneça uma resposta direta aos seus questionamentos). Segundo Vosniadou (2002), uma questão geradora não pode ser respondida com base em informação armazenada, mas requer a solução genuína para um novo problema. Assim, ela deve ser uma questão com a qual o estudante nunca tenha se deparado antes, não possuindo, portanto, conhecimento conceitual explícito de onde poderia derivar uma resposta pronta. O estudante precisa criar uma representação ou um modelo mental (ou ainda, modificar aquele que ele já elaborou), e explorá-lo a fim de extrair dele uma resposta relevante.

Através de tais questões, os estudantes poderão testar mentalmente seus modelos, bem como modificá-los, quando necessário, ou até mesmo rejeitá-los.

A possibilidade de detectar falhas no modelo foi ressaltada por Zumdahl apud Coll (2006) como algo positivo, que acarreta melhora na compreensão de conceitos científicos para cientistas, professores e estudantes e, portanto, inerente à própria natureza do conhecimento científico.

Na *quinta etapa*, selecionamos uma atividade empírica que levasse os estudantes a testar seus modelos em termos de seu poder de previsão e explicação de um fenômeno diferente do apresentado inicialmente. Esse tipo de teste, assim como aqueles realizados mentalmente, pode levar o aluno a modificar o seu modelo ou a rejeitá-lo, com vistas à construção de outro que ele considere melhor.

Finalmente, selecionamos situações diferentes daquelas que seriam modeladas para serem explicadas pelos alunos, no intuito de averiguar sua compreensão sobre os aspectos do conteúdo trabalhados ao longo da modelagem.

APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA FUNDAMENTADA EM MODELAGEM

Na presente seção, descreveremos a aplicação da estratégia elaborada para a introdução ao tema interações intermoleculares, a partir dos aspectos comentados no tópico anterior.

Vale ressaltar que a estratégia foi idealizada para o primeiro contato formal com o tema e pressupõe-se, para o bom desenvolvimento das atividades, os seguintes conhecimentos ou noções prévias(as): modelos atômicos; ligações covalentes; estados de agregação da matéria e mudanças de estado de agregação.

A noção que esses alunos – que, em sua maioria, fizeram a 8ª série do ensino fundamental na mesma instituição em que a pesquisa foi realizada – possuíam sobre modelos era a de uma representação de algo. Por outro lado, o processo de modelagem, no sentido adotado nesse trabalho, era inteiramente novo para eles.

Os principais objetivos da atividade, em termos do conteúdo foram: (i) diferenciar interações intermoleculares de interatômicas e; (ii) desenvolver a noção de força das interações intermoleculares associada à magnitude das temperaturas de fusão e ebulição.

Selecionamos como fenômenos a serem modelados o aquecimento de grafite e iodo. Os alunos (organizados em grupos) receberam amostras das duas substâncias, foram solicitados a fazer previsões a respeito do seu comportamento sob aquecimento e, em seguida, a aquecerem as amostras. Após a realização do experimento, foram questionados sobre o papel do calor no aquecimento, sobre as transformações observadas e as previsões realizadas, sendo levados a refletir sobre o fenômeno observado e a iniciar a elaboração de seus modelos mentais (Atividade 1).

Na etapa seguinte, cada grupo recebeu diversos tipos de materiais, tais como: bolinhas de isopor, massa para modelar, cola, papel, tesoura, lápis de cor, caixinhas de acetato, entre outros, sendo solicitados a expressar seus modelos para os fenômenos observados antes, durante e após o aquecimento (Atividade 2).

Após a elaboração e expressão de seus modelos, os alunos foram solicitados a fornecer explicações sobre as origens da construção dos mesmos, os recursos escolhidos para expressá-los e seus significados. A discussão desses aspectos transpassou toda a estratégia a partir deste ponto e teve como objetivos principais detectar as concepções alternativas dos estudantes, fazer intervenções nas mesmas e averiguar os avanços nos seus entendimentos.

Em seguida, com os objetivos de testar seus modelos quanto ao poder de predição e explicação e de fornecer mais informações aos alunos, propusemos o teste do iodo em presença

de amido, fornecendo previamente a informação relativa à evidência de reação³. Antes de realizar o teste, os alunos foram novamente solicitados a realizar previsões, desta vez, com base no modelo já elaborado. Em seguida, forneceram explicações para o fenômeno observado, também baseadas em seus modelos. (Atividade 3)

No intuito de averiguar a compreensão dos alunos sobre processos em que são rompidas interações intermoleculares e interatômicas, os alunos foram solicitados a modelar, com base na discussão realizada ao longo da atividade, os processos de fusão e caramelização do açúcar (Atividade 4).

Cada uma das etapas em que os alunos foram solicitados a elaborar ou testar seus modelos foi seguida de um momento de socialização – no qual cada grupo apresentou seu modelo para a turma – e de discussão desses modelos. Todavia, o objetivo dessas discussões não foi nunca o de *corrigir* os modelos elaborados pelos alunos, mas sim de discutir a coerência dos mesmos frente às informações disponíveis no momento e de favorecer o questionamento dos próprios alunos em relação aos modelos propostos pelos colegas (uma consequência natural da comparação estabelecida por eles entre tais modelos).

Finalmente, para cumprir o objetivo de desenvolver a noção de força das interações intermoleculares associada à magnitude das temperaturas de fusão e ebulição, propusemos a comparação e discussão dos valores de temperaturas de fusão e ebulição de diferentes substâncias moleculares. Neste momento, a definição de substância molecular foi formalizada para os estudantes (Atividade 5).

Para a aplicação da estratégia, a turma se dividiu em 6 grupos de 5 a 7 alunos e foram necessárias 9 aulas, cuja distribuição de acordo com as atividades realizadas, se encontra na tabela 1.

Tabela 1: Distribuição das aulas de acordo com as atividades

| Atividade | Número de aulas | Observações |
|------------|-----------------|---|
| 1 | 1 aula | |
| 2 | 3 aulas | Incluem apresentação e discussão dos modelos produzidos pelos grupos. |
| 3 | 2 aulas | Incluem nova apresentação e discussão dos modelos reformulados pelos grupos. |
| 4 | 1 aula | |
| 5 | 1 aula | |
| Fechamento | 1 aula | Crítica ao processo vivenciado, destacando seus aspectos positivos e negativos. Retomada dos diferentes modelos produzidos, seus poderes explicativos e limitações. |

QUESTÃO DE PESQUISA

No presente artigo nos propusemos a responder a seguinte questão de pesquisa: Como atividades de modelagem podem contribuir para que os alunos diferenciem interações interatômicas de intermoleculares?

³ A presença de amido em certos alimentos pode ser detectada através de sua reação com o iodo (I₂), evidenciada pelo aparecimento da cor azul.

METODOLOGIA

AMOSTRA

A estratégia ensino foi aplicada a 36 alunos de uma mesma turma, cuja faixa etária estava entre 15 e 17 anos, que cursavam o primeiro ano do ensino médio de uma escola particular de Belo Horizonte. A primeira autora desse artigo era a professora da turma desde o ano anterior.

COLETA DE DADOS

Após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG e assinatura de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido por parte dos alunos e de seus responsáveis, as aulas foram filmadas e todo material produzido pelos alunos no decorrer delas (modelos expressos e material escrito), foi recolhido. Anotações de campo foram efetuadas pela professora, que também fotografou os modelos dos alunos em seus diversos estágios.

ANÁLISE DE DADOS

As atividades escritas produzidas pelos alunos, seus modelos expressos, as anotações de campo da professora e as gravações em vídeo das aulas, cujos trechos foram transcritos quando necessário (isto é, sempre que tais trechos se mostraram elucidativos do pensamento dos estudantes acerca do processo de aprendizagem vivenciado, foram analisados), foram analisadas com o objetivo de identificar como as idéias dos alunos se modificaram ao longo do processo de ensino.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas abaixo apresentam, em ordem cronológica, os modelos propostos pelos 6 grupos que participaram das atividades da estratégia de ensino.

A tabela 2 apresenta uma breve descrição dos modelos elaborados pelos alunos na atividade 2 para explicar o que aconteceu com cada um dos sistemas (iodo e grafite) sob aquecimento.

Tabela 2: Síntese dos modelos inicialmente expressos pelos grupos

| Grupos | Modelo para o grafite sob aquecimento ⁴ | Modelo para o iodo sob aquecimento |
|--------|--|---|
| G1 | Moléculas de C ₂ com ligações C=C ⁵ | Afastamento das moléculas de I ₂ |
| G2 | Moléculas de C ₂ com ligações C≡C | Quebra de ligações interatômicas (I-I) |
| G3 | Átomos de C atraídos, mas não ligados | Reação do iodo com o oxigênio do ar |
| G4 | Moléculas de C ₂ com ligações C≡C | Quebra de ligações interatômicas (I-I) |
| G5 | Moléculas de C ₂ com ligações C≡C | Afastamento das moléculas de I ₂ |
| G6 | Fileira de átomos de C ligados por C=C, com os átomos centrais estáveis e os das extremidades não estáveis | Quebra de ligações interatômicas (I-I) |

Durante a confecção de seus modelos, os alunos solicitaram, por diversas vezes, a presença da professora para esclarecer algumas de suas dúvidas. Esta, por sua vez, utilizou

⁴ Em todos os modelos elaborados para explicar o comportamento do grafite sob aquecimento foi proposta a existência de fortes ligações interatômicas que justificavam a não ruptura dessas ligações.

⁵ Os símbolos (-); (=) e (≡) indicam ligações covalentes, respectivamente: simples, dupla e “quádrupla” entre os átomos de carbono.

questões geradoras para estimulá-los a pensar e, quando necessário, reformular ou, até mesmo, abandonar seus modelos.

Uma síntese desses modelos reformulados é apresentada na tabela 3.

Tabela 3: Síntese dos modelos reformulados, expressos após as primeiras discussões

| Grupos | Modelo para o grafite sob aquecimento | Modelo para o iodo sob aquecimento |
|--------|--|---|
| G1 | Moléculas de C ₂ com ligações C≡C | Quebra de ligações interatômicas (I-I) |
| G2 | Moléculas cíclicas com 4 átomos de carbono (C ₄) ligados por C-C | ---- |
| G3 | ---- | Abandono do modelo inicial |
| G4 | Moléculas de C ₂ fortemente atraídas | ---- |
| G5 | Cadeia plana de átomos de C ligados a 4 outros átomos de C por ligações C-C, sendo os centrais estáveis e os laterais não estáveis | ---- |
| G6 | Moléculas de C ₂ com ligações C≡C ⁶ | Afastamento das moléculas de I ₂ |

---- significa que não houve reformulação e o grupo manteve o modelo inicial.

Após a realização da atividade 3 (teste do amido em presença de iodo) e das diversas discussões entre os alunos e dos alunos com a professora, eles tiveram uma nova oportunidade para reformular seus modelos. A tabela 4 exibe uma síntese desses novos modelos.

Tabela 4: Síntese dos modelos reformulados, expressos pelos grupos após a realização da atividade 3 e de discussões posteriores

| Grupos | Modelo para o grafite sob aquecimento | Modelo para o iodo sob aquecimento |
|--------|---|---|
| G1 | Átomos de C ligados a 4 outros por C-C em várias direções (retículo cristalino) | Afastamento das moléculas de I ₂ |
| G2 | Moléculas cíclicas (fortemente atraídas) com 3 átomos de carbono (C ₃) ligados por C-C | |
| G3 | Átomos de C ligados por C-C, dando origem a uma forma geométrica com todos eles estáveis ⁷ | |
| G4 | ---- | |
| G5 | Planos de átomos de C ligados entre si | |
| G6 | Fileiras de átomos de C ligadas entre si ⁸ | |

Durante as explicações dos modelos reformulados para o iodo sob aquecimento, observou-se que ocorreu uma preferência em todos os grupos pela utilização do termo “afastamento” das moléculas no lugar “quebra” de ligações entre elas. Os alunos deixaram claro que acreditavam ser mais correto falar em moléculas atraídas do que ligadas, pois nesta última situação a atração entre as entidades envolvidas é, segundo eles, muito forte.

A análise dos dados das tabelas 2, 3 e 4 evidencia o progresso, nos grupos, da idéia de ruptura de ligações covalentes entre os átomos de iodo (figura 1) para a de afastamento das

⁶ Houve uma subdivisão do G6, constituído de seis alunos, pois três deles não concordaram com o modelo proposto inicialmente (tabela 2) e propuseram os dois modelos para o grafite e iodo sob aquecimento apresentados nessa tabela.

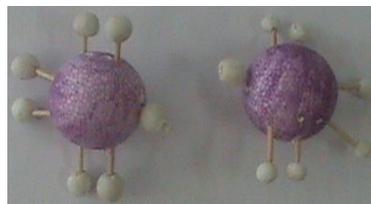
⁷ Neste grupo também ocorreu uma subdivisão, com duas alunas das sete integrantes, apresentado o modelo para o grafite constante dessa tabela e diferente daquele elaborado pelos demais integrantes (apresentado na tabela 1).

⁸ Estes modelos finais para o grafite e iodo foram consensuais no G6.

moléculas de iodo (figura 2). Isso ocorreu após a realização do teste do iodo, que parece ter sido um dos fatores determinantes para que os alunos reformulassem seus modelos, visto que a partir de sua realização todos os grupos passaram a propor a idéia, coerente com o modelo científico, de afastamento das moléculas de I_2 .



(a)



(b)

Figura 1 . Modelo inicial do grupo 6 para o iodo antes (a) e durante o aquecimento (b)



(a)



(b)

Figura 2 . Modelo reformulado do grupo 3 para o iodo antes (a) e durante o aquecimento (b)

No caso dos grupos G1 e G5, que propuseram, já na atividade 2, o afastamento das moléculas de I_2 , notou-se que isso não foi feito de maneira consistente uma vez que os alunos de G1, ao reformularem este modelo após as primeiras discussões nessa mesma atividade, explicaram que as ligações I-I se romperiam por serem fracas; e os de G5, ao expressarem suas previsões para o comportamento do iodo em presença de amido (atividade 3), fizeram afirmações semelhantes. Os integrantes destes grupos só reformularam o modelo de separação atômica, após a realização do teste de iodo e identificação da coloração azulada no sistema.

É importante ressaltar também o papel das discussões realizadas e das questões geradoras propostas pela professora, na elaboração de modelos coerentes com os modelos científicos. Durante uma dessas discussões, na apresentação de seus modelos na atividade 2, alunos dos grupos G3, por exemplo, tentaram justificar a coloração roxa observada durante o aquecimento do iodo, através de sua reação química com o oxigênio do ar. Numa dessas discussões, uma das integrantes desse grupo afirmou que “*só reagiu com o oxigênio porque foi feito em lugar aberto*”. Neste momento, a professora solicitou-lhes a realização da experiência em ambiente fechado, o que lhes possibilitou o abandono desse modelo inicial. Um novo modelo foi proposto pelo grupo após a realização da atividade 3 (tabela 4).

Outro ponto crucial das discussões para a reformulação das idéias dos alunos ocorreu quando alunos do G6, durante a atividade 3, propuseram que a cor roxa obtida seria resultante dos saltos quânticos realizados pelos elétrons do iodo sob aquecimento. Eles foram questionados, num primeiro momento, por integrantes do G3 sobre o fato de essa cor ser da própria substância após aquecimento (derivada da interação da luz com a matéria) e, posteriormente, pela professora que realizava a filmagem (também integrante do projeto de formação de professores) sobre a instantaneidade do fenômeno de salto quântico associada ao fornecimento de energia, como demonstrado no trecho abaixo transcrito:

Prof: *Se essa cor permanece aí, dessa forma aí (aponta para a coloração roxa dentro do tubo de ensaio fora do aquecimento), mesmo sem o fornecimento de energia, vocês continuam achando que é pelo salto quântico que ele fica roxo?*

Aluno: *Não.*

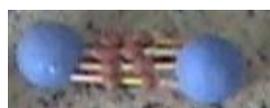
Prof: *Porque é instantâneo, né?(...)*

Aluno: *Nó é mesmo, você tem razão. (...)*

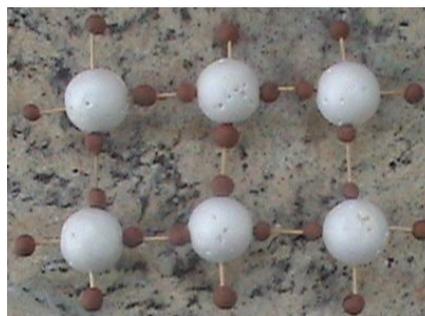
É mesmo cara (fala para outro integrante do grupo)(...)

Se fosse salto quântico igual a gente tava prevendo, ia deixar de ficar roxo.

Com relação aos modelos para o grafite sob aquecimento, os dados apresentados nas tabelas anteriores evidenciam que grupos como G1, parte de G3, G5 e parte de G6 evoluíram da idéia de moléculas ou átomos de carbono isoladas(os) para a de cadeias carbônicas (idéia mais coerente com aquela do modelo científico).



(a)



(b)

Figura 3: Modelo do grupo 5 para o grafite sob aquecimento (a) molecular e (b) em cadeia

Inicialmente (na atividade 2), os integrantes de G6 propuseram um modelo que constava de apenas uma fileira de átomos de carbono ligados por ligações duplas, que se prolongaria lateralmente e na qual os átomos centrais estariam estáveis (se referiam ao fato de apresentarem oito elétrons no último nível) e os laterais não (figura 4). Ao serem questionados pela professora se eles imaginavam a existência de uma ou mais fileiras (como a que representaram) na constituição do grafite, eles afirmaram que pensavam em várias fileiras, com os núcleos dos átomos de uma se intercalando com os núcleos de outras.



Figura 4 . Modelo de fileira do grupo 6 para o grafite sob aquecimento

Em outro momento de discussão (atividade 3), foi fornecida aos alunos de G6 a informação de que o grafite sublimaria a 3825°C e solicitou-se que eles explicassem onde ocorreriam as rupturas usando seus modelos. Um dos integrantes mostrou que seria entre os átomos e explicou para a professora que a intensidade da ligação entre os átomos seria a mesma que entre as fileiras que estariam dispostas em diversas direções (idéia de retículo).

O modelo inicial de G3 (atividade 2) foi descrito por uma de suas integrantes que afirmou que “os átomos de carbono estão fortemente atraídos, mas não ligados” e que “o núcleo de um atrai o elétron do outro fortemente, já que são átomos pequenos. Mas não o suficiente para haver ligação entre eles”. Em diversos momentos da atividade, os integrantes desse grupo, que permaneceram com esse modelo até o final do processo, foram questionados, principalmente por integrantes de G2, G4 e G5 sobre o fato de os átomos estarem fortemente atraídos, mas não ligados, e sobre a estabilidade de átomos não ligados. Observou-se nessas discussões, que aquilo que fundamentou a idéia de átomos não ligados por parte dos integrantes do G3, foi a

representação do grafite como C_{graf} e não como C_2 ou C_3 , por exemplo. Esse fato os levou a questionar os modelos moleculares de outros grupos, como o proposto por parte de G6 (ver tabela 3), cujas idéias divergiram, em alguns momentos, do modelo de fileiras do restante do grupo. Apesar da incoerência do modelo proposto por parte de G3, ele era capaz de fornecer explicações para o sistema grafite sob aquecimento, uma vez que essa incoerência se deu em termos da nomenclatura adotada pelo grupo e não das idéias contidas em seu modelo.

Somente os grupos G2 e G4 mantiveram a idéia de moléculas de carbono, na qual os átomos estariam fortemente ligados, apesar de a atração entre as moléculas ser suficientemente forte a ponto de estas não se separarem ao se fornecer pouca energia.

Quando os integrantes desses grupos foram questionados por integrantes de G5 e G6 (atividade 5) sobre o fato de o grafite, ao ser aquecido, não passar pelo estado líquido, com ruptura das supostas atrações entre as moléculas, mas sim sublimar, eles não forneceram explicações coerentes com seus modelos. Uma integrante de G2, por exemplo, afirmou que as atrações entre as moléculas de C_3 eram muito fortes. Entretanto, ao ser indagada pela professora se, com atrações tão fortes, poder-se-ia falar na ligação entre moléculas de C_3 gerando moléculas maiores como C_6 , C_9 , C_{12} , C_n , a aluna disse que não.

Na discussão final (atividade 5) dessa estratégia de ensino, a retomada dos diferentes modelos produzidos e discussão de seus poderes explicativos e limitações, favoreceu o estabelecimento de um consenso entre os alunos em relação ao modelo de ruptura das interações intermoleculares para explicar o fenômeno de aquecimento do iodo. Com relação ao aquecimento do grafite, o modelo da maioria dos grupos apresentou a idéia de átomos de carbono interagindo fortemente, exceto para os alunos de G2 e G4, como mencionado anteriormente.

Nessa discussão, proporcionamos também a oportunidade de os alunos criticarem o processo vivenciado, destacando seus aspectos positivos e negativos, cujo principal ganho foi o *feedback* por eles fornecido sobre seu entendimento sobre o processo de produção e desenvolvimento do conhecimento científico, como manifestado na fala do aluno:

“O problema que eu acho é que a gente sempre espera uma resposta correta. Foi bom pra gente entender que cada um dá a sua opinião, a gente pode juntar as idéias e não vai ter aquela resposta certa. A gente através de suposições, a gente pode perceber como as coisas acontecem.”

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Os resultados apresentados neste trabalho suportam nossa crença de que atividades de modelagem podem contribuir para o processo de ensino e aprendizagem de química e, mais especificamente, para a introdução de temas com noções tão abstratas, como as de interações interatômicas e intermoleculares.

Isso pôde ser evidenciado pelo fato de que todos os alunos foram capazes de expressar, nos modelos propostos, idéias coerentes com aquelas presentes nos modelos científicos. Mesmo aqueles que, inicialmente, não apresentaram tais idéias, perceberam, pelas sucessivas discussões com o professor e com os demais colegas, as abrangências e limitações de seus modelos e os reformularam ou, em certos casos, os abandonaram. Nesse sentido, os alunos atuaram como agentes de sua própria aprendizagem.

Considerando a discussão apresentada anteriormente, podemos afirmar que os elementos da estratégia de ensino que contribuíram para a modificação das idéias dos alunos foram: a disponibilização de informações importantes (teóricas ou empíricas), a partir das quais os modelos foram propostos e reformulados; as idéias prévias dos alunos; o fato de os modelos serem constantemente testados e os questionamentos da professora.

Através das atividades de modelagem aqui propostas, os modelos expressos e os conhecimentos prévios dos alunos também se tornaram acessíveis ao professor, enquanto numa situação de ensino tradicional eles só poderiam ser verificados através de avaliações ao final do processo de ensino. Nessa estratégia, tais modelos foram discutidos durante o processo e de forma a motivar o próprio aluno a modificá-los, quando necessário.

Acreditamos que, ao considerar os modelos criados e desenvolvidos pelos alunos como potencialmente úteis (dentro de suas limitações), o professor contribui para que esses alunos adquiram confiança em sua capacidade de pensar e em suas próprias idéias, assumindo uma postura mais crítica quanto ao processo de ensino e aprendizagem no qual se encontra inserido. Tal crença se baseia nas opiniões expressas pelos próprios alunos, durante a avaliação da estratégia de ensino, como no exemplo a seguir:

“Eu gostei porque na sala eu ficava viajando. Eu gostei de fazer os modelinhos e pensar além do enunciado.”

A estratégia de ensino apresentada neste trabalho pode ser de grande utilidade para professores que buscam promover uma aprendizagem efetiva de seus alunos. Nela, o professor tem a oportunidade atuar como pesquisador e mediador do processo de aprendizagem, acompanhando o desenvolvimento de seus alunos sobre o tema, a partir do acompanhamento da evolução de seus modelos, uma grata experiência para o profissional docente.

REFERÊNCIAS

- Boo, H. K. Students' understandings of chemical bonds and energetics chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 35, n. 5, 569-581, 1998.
- Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN+ - Ensino Médio - Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação, 2002.
- Coll, R. K. The role of models, mental models and analogies in chemistry teaching. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2006, 65-77.
- Ferreira, P. F. M., & Justi, R. Teachers' role in planning and conducting modelling activities in science teaching. *Journal of Science Education*, v. 8, n. 2, 66-69, 2007.
- Gilbert, J. *Models & Modelling in science education*. Hatfield: The Association for Science Education, 1993.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. The role of analog models in the understanding of nature of models in chemistry. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2006, 119-130.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387, 2002.
- Nakhleh, M. B. Why some students don't learn Chemistry? - Chemical Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, v. 69, n. 3, 191-196, 1992.
- Peterson, R. F., & Treagust, D. F. Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, v. 66, n. 6, 459-460, 1989.
- Vosniadou, S. Mental models in conceptual development. In L. Magnani & N. J. Nesessian (Eds.), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002, 353-368.

AGRADECIMENTO

CNPq.