

A ELABORAÇÃO CONCEITUAL EM REALIDADE ESCOLAR DO MODELO CORPUSCULAR DA MATÉRIA

CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF CORPUSCULAR MODEL OF MATTER IN THE SCHOOL REALITY

Vander Edier Ebling Samrsl¹, Marcelo Leandro Eichler², José Cláudio Del Pino³

¹ Colégio Estadual Paula Soares SECRS

² Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Área de Educação Química UFRGS

³ UFRGS - Área de Educação Química e PPG Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde

Resumo

A investigação sobre as concepções alternativas dos estudantes para os conhecimentos científicos é uma das principais ênfases das pesquisas realizadas no âmbito da didática das ciências. Neste artigo se investiga a elaboração conceitual do modelo corpuscular da matéria e as atribuições desse modelo para explicar os processos de dissolução, expansão térmica do ar e mudanças de estado físico. As atividades realizadas em sala de aula visaram às proposições dos alunos de modelos explicativos, a nível atômico-molecular, dos fenômenos estudados. A partir da análise dos diálogos dos alunos durante as atividades de sala de aula, é possível afirmar que houve evolução dos estudantes em relação à compreensão dos fundamentos da organização da matéria a nível submicroscópico. Em um processo de construção do conhecimento, dialético e dialógico, mediado pelo professor, evidenciou-se a melhoria na proposição de modelos mais complexos para a explicação dos fenômenos estudados em sala de aula.

Palavras-chave: modelo corpuscular; elaboração conceitual; concepções alternativas

Abstract

Research on students' alternative conceptions for scientific knowledge has received major emphasis in science education. This paper analyzes the conceptual development of the corpuscular model of matter, and which characteristics of this model are employed to explain processes like dissolution, thermal expansion of air, and changes of physical state. The students participated in teacher-mediated activities in which they could propose atomic-molecular explicative models, building their knowledge in a dialectic and dialogic perspective. One can state that the students developed their understanding of the fundamentals of sub-microscopic organization of matter. The students also demonstrated an improvement in relation to more complex explanations for the phenomena studied in the classroom. They were able to understand the particle constitution of matter, and that the particles determine the characteristics identified in the analysis of chemical composition and physico-chemical properties.

Keywords: corpuscular model; conceptual development; alterative conceptions

Introdução

O desenvolvimento do conceito de matéria é um dos objetivos fundamentais dos cursos de química. A elaboração desse conceito implica reconhecer a conservação ou a transformação da substância e da quantidade da matéria envolvida nos fenômenos físicos e químicos. Diversos estudos têm evidenciado as concepções espontâneas de estudantes para esses e outros conceitos fundamentais à química, como pode ser encontrado na revisão da literatura empreendida por Barker (2000). O conhecimento científico, conforme Astofi e Develay (1990), possui características diferentes do pensamento comum porque visa delimitar, no fluxo irreversível dos fenômenos, relações gerais e demarcáveis que nos permitam organizar os dados da experiência, de prever os acontecimentos e de agir sobre eles. É construído por um processo de desrealização, desprendendo-se da experiência imediata. Está sempre em deslocamento, sendo retomado quando uma exceção se apresenta.

De forma mais estrita, o desenvolvimento de conceitos de matéria e de substância foi foco de diversas pesquisas, inspiradas na epistemologia genética de Jean Piaget (1990), envolvendo crianças, adolescentes e adultos (Gómez, Benarroch e Marín, 2006; Benarroch, 2000; Eichler, Parrat-Dayán e Fagundes, 2007a e 2007b; Krnel, Glazar e Watson, 2003; Krnel, Watson e Glazar, 2005; Nakhleh, Samarapungavan e Saglam, 2005).

Krnel e colaboradores (2003 e 2005) argumentam que tal desenvolvimento, ou elaboração conceitual, envolve a aprendizagem da distinção entre as propriedades intensivas, que caracterizam a matéria, e as propriedades extensivas, que caracterizam os objetos materiais. E sugerem que o desenvolvimento do conceito de matéria, assim como o desenvolvimento de outros conceitos científicos, está ligado a todo o desenvolvimento cognitivo das crianças e somente se manifestaria na época em que aparece o pensamento operacional concreto.

Porém, há interferências figurativas e perceptivas na utilização desse tipo de pensamento. Conforme as pesquisas catalogadas por Barker (2000), em diversas investigações foi evidenciado que muitos alunos de 15 anos ou mais usam um raciocínio perceptivo sobre a matéria, apesar de estarem mais avançados na lógica de outras áreas, como matemática, por exemplo.

Benarroch (2000) classificou as explicações sobre a natureza corpuscular da matéria em cinco níveis, onde há a evolução da compreensão desta idéia de um nível para o outro. Nos níveis I e II, considera-se a matéria como sendo contínua. O nível III constitui o primeiro nível da evolução conceitual que implica concepções corpusculares. Nesse nível, a matéria é formada por partículas, que são invisíveis, inclusive a nível microscópico. Entre as partículas há buracos que, na maioria das vezes, estão cheios de alguma outra substância. No nível IV, além da existência das partículas na matéria, considera-se o vazio como sendo necessário entre elas. Essa é a diferença entre esse nível e o anterior, onde o vazio é rechaçado, evitado ou ignorado. Os buracos entre as partículas devem estar vazios, pois se houvesse algo entre elas, também seria formado por partículas e, assim, não haveria buraco entre as partículas. Finalmente, o nível V coincide com o conteúdo acadêmico do ensino da natureza corpuscular da matéria. Portanto, nesse nível a matéria é concebida como um sistema de interação entre as partículas, movendo-se continuamente, sem nada entre elas, somente vazio.

Porém, como mostram diversos autores (Eichler, Parrat-Dayán e Fagundes, 2007a e 2007b; Nakhleh, Samarapungavan, Saglam, 2005) tanto adolescentes quanto adultos apresentam dificuldades na utilização de modelos corpuscular da matéria para explicar transformações físicas, como a dissolução ou a mudanças de estado da matéria.

Nakhleh, Samarapungavan, Saglam (2005) realizaram uma investigação, com nove alunos que estavam finalizando o ensino médio, sobre as concepções de matéria e os fenômenos de mudanças de estado físico e de dissolução. Os resultados dessa investigação, indicam que a maioria dos estudantes entrevistados sabe que a matéria é composta de átomos e moléculas, entretanto, eles não conseguiram explicar de forma consistente as propriedades da matéria e seus processos baseados em seus conhecimentos sobre a composição particulada dos materiais. Dessa forma, segundo essas autoras, a fragmentação das idéias dos estudantes de ensino médio sobre a matéria, provavelmente, reflete a dificuldade que eles tiveram em assimilar (e/ou acomodar) as características submicroscópico do conhecimento científico, apresentado através de instrução formal, em seus esquemas prévios de conhecimentos macroscópicos.

Eichler, Parrat-Dayán e Fagundes (2007a e 2007b) sugeriram que, na resolução de problemas, cotidianos ou de tarefas de pesquisa, é o conhecimento que faz as estruturas do pensamento funcionarem. As estruturas são necessárias, mas não são suficientes, muitas vezes é preciso algum conhecimento escolar. Pode-se dizer que, em relação aos problemas sobre as explicações causais, sob o ponto de vista piagetiano, há nas evidências dessas pesquisas uma certa novidade: se não se tem (ou não são operacionais) certos conhecimentos que são ensinados (como modelos corpusculares na explicação das mudanças de estado da matéria e da modificação da aparência nos diferentes estados da matéria), os problemas que necessitam deles não são resolvidos ou devidamente justificados.

Neste artigo, portanto, aborda-se a elaboração conceitual do modelo corpuscular da matéria e as atribuições do modelo particulado da matéria para explicar os processos de dissolução, expansão térmica do ar, e mudanças de estados físicos. Essas atividades estavam inseridas em uma proposta curricular

(Samrsla, Guterres, Eichler e Del Pino, 2007) que foi aplicada em quatro turmas de primeiro ano do nível médio no Colégio Estadual Paula Soares, em Porto Alegre, durante o ano de 2005. Dessa forma, nas próximas seções se relata as atividades realizadas em sala de aula e a análise das interações e dos diálogos realizados em um grupo prototípico.

Metodologia

A coleta de dados foi realizada durante o acompanhamento da implementação de uma proposta curricular inovadora que utiliza o estudo dos minerais e das substâncias elementares, como apoio material e concreto, para a elaboração das noções abstratas dos conceitos fundamentais da química inorgânica (Samrsla e colaboradores, 2007). Foram coletados dados em quatro turmas do primeiro ano do ensino médio, na disciplina de química, no período letivo de 2005. As turmas possuíam 3 horas-aula de química por semana, em um total de 120 horas-aula no ano letivo. Durante o desenvolvimento da proposta, um grupo de alunos em cada turma, considerado exemplar em relação aos demais grupos, foi acompanhado no transcorrer do ano letivo, visando evidenciar a elaboração conceitual de noções fundamentais à química. As atividades desses grupos de alunos foram gravadas em vídeo e seus materiais escritos fotocopiados. Um desses quatro grupos, considerado, também, exemplar em relação ao demais, foi escolhido para ter suas gravações transcritas.

Assim, nossos sujeitos são quatro meninas, BRU, MAI, ITE, MIL, na época alunas da primeira série do ensino médio de uma escola pública do centro de Porto Alegre, com idades entre 15 e 17 anos. Elas compuseram um pequeno grupo que participou das atividades em sala de aula durante todo o ano letivo. O professor que orientou e participou das discussões do grupo é o primeiro autor deste artigo.

Com o objetivo de verificar as concepções e construções de conhecimento sobre as características dos modelos particulados da matéria, que os alunos propõem para explicar suas propriedades, foram analisadas algumas situações de ensino. Essas informações foram levantadas durante os seguintes procedimentos experimentais relativos aos temas. Essas situações de ensino abrangeram em torno de doze horas-aula.

1) Dissolução e Diluição do KMnO_4 : A primeira parte desta atividade consiste na dissolução de um grão de permanganato de potássio em um copo contendo 50 mL de água, para em seguida fazer duas diluições sucessivas, uma com concentração 1/10 da inicial e outra com 1/100 da concentração inicial. O sistema resultante conterá três soluções com diferentes intensidades de coloração. As questões formuladas aos alunos buscam relacionar a quantidade de permanganato de potássio às cores das soluções. Através da informação sobre a massa inicial de permanganato de potássio são realizados cálculos e resolvidas questões que têm por objetivo concluir que a massa de uma partícula de permanganato de potássio deve ser muito pequena e, por conseguinte suas dimensões também. Em uma segunda desta atividade é feita a adição de um grão de permanganato de potássio em um copo contendo 50 mL de água. Deixa-se o sistema em repouso por cinco minutos. Os alunos devem observar o que ocorre com o sistema durante esse tempo e anotar suas observações. Em seguida são respondidas questões onde busca-se associar o movimento das partículas ao fenômeno da dissolução. Na terceira parte da atividade repetem-se os procedimentos utilizados na parte dois, porém utilizando água quente no copo. Seguem-se perguntas que visam a relacionar o aumento da temperatura à maior rapidez de espalhamento da cor e, por consequência, à velocidade com a qual as partículas se movem. Na questão final da atividade, solicita-se que os alunos proponham, através de desenhos, representações para as partículas constituintes das substâncias em materiais sólidos e líquidos e em soluções.

2) Expansão do ar sob aquecimento: Esta atividade consiste em aquecer um frasco de vidro que possui um balão de festa preso ao seu bocal. Com o aquecimento o balão infla. As questões formuladas objetivam que os alunos proponham modelos representacionais, utilizando a idéia de partículas constituintes da matéria, para os sistemas antes e após o aquecimento e para explicar porque o balão infla com o aquecimento.

3) Evaporação e condensação do éter: Nesta atividade dois balões de destilação são conectados por um tubo de vidro, formando um sistema fechado. Um contém éter, outro está somente com ar. O balão que contém éter é mergulhado em um frasco que contém água quente e o balão “vazio” é

mergulhado no frasco que contém água gelada. Antes da realização do experimento, pede-se que os alunos prevejam o que pode ocorrer com o sistema. Solicita-se que eles escrevam suas observações durante o processo. Por fim, questiona-se sobre as descrições e explicações dadas ao que foi observado.

4) Sublimação do iodo: Esta atividade consiste no aquecimento de alguns grãos de iodo dentro de um balão de aquecimento com “gargalo longo”. O iodo com o aquecimento sublima formando um gás violáceo, que em contato com as paredes frias do balão cristaliza. Questiona-se sobre as características das substâncias presentes, sobre as transformações, bem como sobre a quantidade de material. Tais perguntas objetivam evidenciar e problematizar a noção de conservação da matéria. Solicita-se que os alunos proponham modelos para a substância nas diferentes etapas do experimento. Por final pede-se que os alunos façam desenhos representativos e utilizem a idéia de partículas para explicar os fenômenos ocorridos no sistema.

5) Mistura de água e álcool: Inicialmente pede-se para os alunos fazerem representações de como estariam as partículas na água e no álcool e digam o que esperam que ocorra quando os líquidos forem misturados, indicando o volume final resultante. Mistura-se 50 mL de cada líquido. A mistura resultante tem volume menor que a soma dos volumes de seus componentes separadamente. Esse fato encadeia as discussões seguintes. Pede-se para os alunos proporem explicações para o fato da diminuição do volume na mistura e fazerem representações das partículas constituintes da matéria na mistura de água e de álcool.

Resultados e discussão

Os resultados serão apresentados seguindo a ordem de realização dos experimentos em sala de aula. Pretende-se mostrar a evolução da compreensão dos estudantes sobre os diferentes fatores intervenientes na ocorrência dos fenômenos envolvendo transformações da matéria que foram realizados nesta investigação, bem como evidenciar a progressão da elaboração do modelo corpuscular da matéria e de sua utilização na explicação das transformações da matéria.

A dissolução e diluição do permanganato de potássio

O termo partículas apareceu pela primeira vez na introdução da atividade de dissolução e diluição do permanganato de potássio em água através da proposição do professor: “*as substâncias são formadas por partículas*”. No questionário entregue aos alunos, a primeira questão relacionada ao tema partículas foi a de número seis, que informou a massa de permanganato de potássio¹ contida em 1 mL da solução mais diluída e solicitando aos alunos a proposição de um número de partículas de permanganato de potássio responsáveis pela coloração desse 1 mL. Nesse contexto, o termo partícula foi utilizado para designar os pequeníssimos pedaços do grão do permanganato de potássio que são responsáveis pela cor na solução. Destacou-se a pequena quantidade de massa do sólido responsável pela cor da solução, procurando relacioná-la ao tamanho das partículas.

Tais asserções do roteiro são muito diretas e não possibilitaram às alunas concluírem por si o tamanho das partículas. Porém permitiram a consideração dessa idéia, apresentando-la para ser usada quando se pensar em partículas.

Durante a realização da atividade as alunas tiveram dificuldades de entender o que estava sendo solicitado. Elas tentaram fazer cálculos com os números obtidos anteriormente e não conseguiram chegar a uma solução para a questão. Os insucessos na tentativa de resolver a questão ocorreram devido as alunas não admitirem a possibilidade de poder inventar qualquer número de partículas como resposta. Isso não se enquadrava com os tipos de questões comumente utilizadas no ambiente escolar, onde se apresenta uma única resposta certa, obtida mediante a realização de cálculos ou outros artifícios fornecidos anteriormente pelos professores. Essa postura de querer uma resposta exata é manifestada várias vezes durante as aulas, principalmente nas primeiras atividades, enquanto elas estão se habituando com questões que propõem explicações.

Para auxiliar as alunas a resolver a questão seis (seqüência 1) o professor propôs a divisão do 1mL da solução em várias partes, todas coloridas, para relacioná-las às partículas, deduzindo assim, que

¹ Esse valor é calculado através de relações de “regra de três”, realizadas em questões anteriores, mas também é fornecido no roteiro.

existem várias partículas em 1mL. Nos diálogos seguintes (falas 5 a 8) há associação da massa de 0,000001g às partículas presentes no 1mL da solução. Da qual se conclui que a massa das partículas é muito pequena e, portanto, as partículas também devem ser muito pequenas.

Seqüência 1: (1) PRO: “Então é assim. Se vocês pegarem aquele 1 mL ali tem 0,000001 g”. (2) BRU: “Isso”. (3) PRO: “Aquele 1 mL tem várias partículas de permanganato, pois esse 1 mL também é colorido. Têm várias gotas todas elas coloridas. Se a gente começar a dividir as gotas em pedacinhos, meia gota também é colorida. Sim?”. (4) BRU: “Sempre vai ser colorido”. (5) PRO continuando: “Então também vai ter partículas ali. (apontando para a gota) Então digamos que 1 mL tem vinte gotas, vai ter vinte partículas. Se a gente consegue dividir a gota no meio vai ter 40 partículas. Então vai ter várias partículas. Então se tivesse uma partícula só. Essa massa aqui assim (aponta para a folha = 0,000001g) seria de uma partícula”. (6) ITE: “Não de várias”. (7) PRO: “De uma só. Mas essa seria uma massa bem pequena. Se têm várias, o que acontece? A massa de uma partícula sozinha é menor ainda”. (8) BRU: “Muito pequena”.

A apropriação da idéia que as partículas são muito pequenas pareceu ter sido apreendida pelas alunas, que ao elaborarem a resposta escrita para a questão, mencionaram que as partículas são muito pequenas: “1000003 partículas. A massa de uma partícula é muito pequena”. Provavelmente, nesse momento, a idéia que as alunas têm de partículas é a de pequenos pedaços do sólido permanganato de potássio e, extrapolando para outras substâncias, pequenos pedaços das substâncias.

Porém, a imaginação “submicroscópica” de como as partículas se organizam e quais as interações entre elas parece que ainda não foi desenvolvida pelas alunas. Pois elas não utilizaram essas idéias nas respostas às questões seguintes, sendo que, as respostas dadas estão relacionadas ao visível, à “experiência física”. Também porque não conseguiram resolver a questão seguinte: “Como você explica a ocorrência do fenômeno da dissolução?” (seqüência 2). Sua resolução envolveria a utilização da idéia de partículas, ou seja, uma explicação em nível submicroscópico.

Essa explicação do fenômeno vai além dos simples dados obtidos com a observação. Isso exige níveis de pensamento mais elaborados, onde nesse tipo de explicação há “uma reorganização dos conhecimentos no sentido de uma explicação progressiva consciente” (Parrat-Dayana, 2003, p.40).

Seqüência 2: (1) BRU: “Como você explica o fenômeno da dissolução? Como você se explica?”. (2) MIL: “Se explica, eu acho, através da solubilidade que cada substância tem a água, né?”. (3) BRU: “Tá, mas como se explica a solubilidade, solubilidade...”. (4) MIL: “Hã..., não sei”.

Como as alunas não conseguiram resolver a questão elas buscaram a próxima: “As partículas de permanganato poderiam se espalhar se as partículas do líquido não se movessem?”. Nesse enunciado é utilizado o termo partículas tanto para o sólido como para o líquido. Mas como as alunas pensam em termos das manifestações macroscópicas dos fenômenos, interpretaram equivocadamente a questão, e confundiram agitar o líquido com um possível movimento das partículas no líquido.

As tarefas de aula continuaram com a resolução da questão: “Quando se descasca uma bergamota é praticamente impossível evitar que alguém não perceba o cheiro da fruta. Em que se baseia o fenômeno do cheiro se espalhar?”. Dessa vez as alunas utilizaram a idéia de partículas (seqüência 3). Isso pode estar relacionado ao fato da questão anterior se referir às partículas. Pode, também, estar associado às possíveis relações e generalizações que fazem com outros fatos observados no cotidiano, como a poeira e as suspensões de pó. Nesse sentido, as alunas mostraram maior facilidade de associar a idéia de partículas ao sistema gasoso. Talvez porque nesse sistema não é possível, na maioria das vezes, enxergar a substância.² Desta forma a idéia de pequenas partículas invisíveis explica a existência desse material invisível, o gás.

Seqüência 3: (1) BRU após ler a questão: “Porque as partículas do ar e as do cheiro”. [fica gesticulando com o lápis fazendo movimentos circulares como se indicando que estão se movendo.] (2) MIL: “As partículas do cheiro da bergamota se espalham pelo ar”. (3) BRU: “Nas partículas do ar...”. (4) MIL: “Sim, né”.

O efeito da temperatura sobre o movimento das partículas foi questionado na pergunta: “O que ocorre com a velocidade que as partículas se movem no interior do líquido com o aumento da

² As experiências e interações que temos comumente com o sistema gasoso no nosso dia a dia, são realizadas com gases incolores. Há uma generalização que os gases são incolores (Stavy, 1990)

temperatura?”. As alunas responderam rapidamente: “*Ela aumenta*”. Essa resposta foi considerada fácil e direta porque está associada a única variável modificada de um sistema para outro.

Na última questão da atividade, solicitou-se que as alunas fizessem representações ou desenhos de como elas imaginam as partículas nas diferentes substâncias e soluções utilizadas em aula. As alunas não conseguiram realizar a tarefa, talvez, porque não assimilaram (ou acomodaram) a noção de partícula.

O professor forneceu, então, explicações na lousa, para toda turma, sobre como resolver tal questão. Porém, essas não foram suficientes para o grupo conseguir realizar a representação solicitada. Diante da dificuldade das alunas, o professor sentou-se junto ao grupo para as auxiliar. Ele perguntou como elas haviam explicado o fenômeno da dissolução. As alunas disseram que não tinham conseguido resolver. Na seqüência 4, o professor questionou sobre as observações que as alunas tinham realizado quando foi adicionado o grão de permanganato de potássio na água (falas 1 e 3). A partir da resposta das alunas (fala 4), o professor fez a associação do espalhamento da cor como a dispersão do permanganato de potássio para em seguida relacionar esse espalhamento ao fenômeno da dissolução. Nesse diálogo o professor não fala em partículas, o termo foi utilizado pela aluna BRU, na fala 18, e complementada na fala 20, para tentar explicar a dissolução. Porém quando ela formulou a resposta (fala 22), para escrever na folha, ela deixou de utilizar o termo e fala somente do sólido se espalhando no líquido. Nesse sentido, infere-se que ela utiliza uma explicação em nível mais fenomenológico do que submicroscópico. O professor chamou a atenção para utilizar partículas na resposta (fala 23), o que é atendido pela aluna (fala 24). Nessas ações, supôs-se que as alunas estão começando a utilizar a idéia de partículas e tentam explicar os fenômenos em nível corpuscular.

Seqüência 4: (1) PRO : “*O fenômeno em si, ele assim, se agente botava permanganato, o que acontecia com ele na água?*”. (2) BRU: “*Se dissolvia*”. (3) PRO: “*Se dissolvia, tá. E o que tu conseguia ver? O que vocês viam?*”. (4) MIL: “*A cor se espalhando*”. (5) PRO: “*A cor se espalhando, então, a cor se espalhando significa que o permanganato está?*”. (6) BRU: “*Se dissolvendo*”. (7) MIL e ITE: “*Se dissolvendo*”. (8) [...] (9) PRO: “*Se a cor está se espalhando, quem está se espalhando*”. (10) MIL: “*O permanganato*”. (11) BRU: “*É, o permanganato*”. (12) PRO: “*Vocês estavam mexendo o copo, ou não?*”. (13) BRU e MIL: “*Não*”. (14) PRO: “*Então o permanganato estava se mexendo, se espalhando sozinho*”. (15) BRU: “*Hã-ham*” (sim). MIL: “*É*”. (16) PRO: “*Isso não é a dissolução dele?*”. (17) MIL: “*Sim*”. (18) BRU: “*É as partículas de permanganato, ahh, ahh, qual a pergunta?*”. (19) PRO: “*As partículas de permanganato fazendo o que?*”. (20) BRU: “*Se espalhando na água*”. (21) PRO: “*No líquido. Isso é o fenômeno da dissolução*”. (22) BRU: “*Tá, mas daí pergunta, espera aí, (lê a folha) Como se explica a ocorrência do fenômeno da dissolução? (e complementa) No geral, a gente vai dizer que o sólido se espalha no líquido*”. (23) PRO: “*As partículas, as partículas, o que as...*”. (24) BRU: “*As partículas do sólido se dissolvem, se espalham pelo líquido*”.

Na seqüência 5, a seguir, o professor continuou dialogando com as alunas e utilizou uma analogia sobre pessoas em movimento dentro de um ônibus cheio, relacionando-a ao movimento das partículas. Embora as alunas tenham entendido a analogia do professor, elas não verbalizaram a idéia de partículas quando propuseram a explicação da questão. Elas continuam falando sobre as substâncias sem fazer inferências as suas partículas.

Seqüência 5: (1) PRO: “*Então, assim, pensem que para poder se movimentar... Pensem em um ônibus cheio, cheio, cheio*”. (2) BRU: “*Tá bom*”. (3) MIL: “*Vou pensar*”. (4) PRO: “*Tu está lá na frente, e quer ir lá para o fundo. Se as pessoas não derem lugar para ti, tem como se mexer? Dentro do ônibus?*”. (5) MIL: “*Não*”. (6) PRO: “*Não. Na medida que o pessoal do fundo vai descendo tu consegue ir descendo junto, pois os outros se mexem. Então, só pode se mexer porque tem que ter espaço para se mexer. Então assim, quem estava se mexendo ali assim, eram as partículas de água, não eram?*”. (7) BRU: “*Sim*”. (8) PRO: “*Só que a gente não está vendo*”. (9) MIL: “*Ahh (sim), então*”. (10) PRO continua falando: “*Como a gente consegue ver isso? Pela própria dissolução do permanganato, que ali tem cor*”. (11) MIL: “*Então a resposta é não ele não conseguiria se, [pausa] se dissolver*”. (12) BRU “*Não, pois para o permanganato se dissolver*”. (13) MIL complementa: “*O líquido deveria estar se movendo*”.

A verbalização da idéia de partículas ocorre somente quando as alunas tiveram que propor modelos para explicar as características dos estados físicos, conforme a seqüência 6. O professor questionou sobre as características do estado sólido. A aluna BRU disse: “*a forma é constante e o volume*

também” (fala 4). Então, ao ser questionada pelo professor sobre o porquê da forma e volume serem constantes (fala 5), a aluna BRU pareceu utilizar um modelo de partículas para o estado sólido, dizendo que elas estariam agrupadas (fala 6). O professor continuou com a discussão, utilizando agora a idéia de partículas. Perguntou sobre o movimento das partículas no sólido (fala 7) e no líquido (fala 9). Disse, na fala 11, para as alunas utilizarem essas diferentes características entre as partículas do sólido e do líquido para proporem suas representações.

Percebe-se que as alunas entenderam a lógica da questão, e conseguiram propor modelos utilizando a idéia das substâncias serem formadas por pequeníssimas partículas, agrupadas no estado sólido e separadas no estado líquido. Além disso, conseguiram fazer generalizações dos modelos criados para outros sistemas. Por exemplo, quando BRU utilizou novamente a idéia de partículas separadas para a solução de permanganato de potássio em água (fala 23). Essa generalização fica mais evidente na fala 25: “*Mas é tudo a mesma coisa então?*”, onde a aluna percebeu que todos os líquidos (soluções) teriam a mesma representação.

A proposição dos modelos, que foi auxiliada pelo professor, bem como a generalização feita independentemente pela aluna BRU, mostraram que as alunas conseguiram avançar para níveis de pensamento mais complexos. As alunas conseguiram propor explicações causais para o fenômeno. Conforme Inhelder (1986), a explicação causal consiste no uso de ações e operações por um sujeito que cria modelos (representações) e os atribui a objetos. Da seqüência seguinte pode-se inferir que as alunas deixaram de fazer relações somente entre as observações macroscópicas sobre os objetos e construíram explicações “submicroscópicas” para justificar suas observações. As explicações causais, também, são encontradas nas falas 30 a 35, nas quais as alunas explicaram que a causa de existir espaço entre as partículas é devido as mesmas se moverem. As representações criadas pelas alunas para a questão podem ser vistas na figura 1.

Seqüência 6: (1) PRO: “*Vamos pegar um sólido, por exemplo, vamos pegar este palito. Qual a forma dele?* [PRO arranca a cabeça do palito para ficar somente com a parte de madeira] *Madeira, certo?*”. (2) BRU: “*Certo*”. (3) PRO: “*Sólido, sólido. Se eu fizer assim vai mudar a forma dele?*”. [PRO inclina a mão que segura o palito para que ele mude de uma posição vertical para uma posição horizontal.] (4) BRU: “*Não, a forma é constante e o volume também*”. (5) PRO: “*Isso tá. E o que acontece? Por que isso será? Como estão as partículas ali assim para*”. (6) BRU interrompe: “*Agrupadas [faz gesto unindo as mãos], vamos dizer assim*”. (7) PRO: “*Elas estão se movendo aqui no sólido?*”. (8) BRU: “*Não*”. (9) PRO: “*Não, então por alguma coisa, elas não podem se mover. [PRO pega uma garrafa com água.] E no líquido elas se movem?*”. (10) BRU: “*É lógico*”. (11) PRO: “*Tem que se mover, se não, não ficariam nesta forma, se bota assim [mexendo a garrafa] fica nesta forma. Se eu abrir aqui assim vai molhar toda classe. Então tem alguma coisa diferente nas partículas do líquido e nas partículas do sólido. Então tentem representar isso*”. (12) BRU: “*Tá, mas então, o sólido permanganato de potássio*”. (13) PRO: “*Como será que estão as bolinhas no sólido?*”. (14)[...] (15) MIL: “*Um monte de bolinhas agrupadas*”. (16) PRO: “*Pode ser*”. (17) PRO: “*Como estão as bolinhas agora da água?*”. (18) BRU: “*As bolinhas da água estão*”. (19) MIL “*Estão dispersas*”. (20) PRO: “*Pode ser uma representação, elas podem estar mais separadas. Lembrem-se que vocês estão fazendo as primeiras idéias sobre a constituição das partículas*”. (21) BRU: “*Tá, e a solução do copo 1. Que copo 1 é esse?*”. (22) PRO: “*É aquele primeiro copo, mais escuro. Vai ter água e permanganato agora, vai ter que ter bolinha de água e bolinha de permanganato*”. (23) BRU: “*Mas mesmo assim elas estão separadas*. (24) [...] (25) BRU: “*Mas é tudo a mesma coisa então?*”. (26) PRO: “*O que vai diminuindo?*”. (27) BRU e MIL: “*O permanganato*”. (28) [...] (29) PRO: “*Então, por que vocês botaram espaço entre as bolinhas?*”. (30) BRU: “*Porque é líquido*”. (31) PRO: “*Tá, mas por que no líquido tem espaço?*”. (32) BRU: “*Porque as partículas se movem*”. (33) PRO: “*Tá, então assim, a idéia de vocês colocarem este espaço é que as partículas se movem, né?*”. (34) BRU: “*É*”.

Na Figura 1, encontra-se a primeira representação para as partículas realizadas pelas alunas. Percebe-se a tentativa de representar os aspectos visuais (macroscópicos) em uma escala submicroscópica (representacional). Por exemplo, na letra f, elas representam as partículas de permanganato de potássio na parte de baixo do desenho, correspondendo a cor mais intensa no fundo do copo. Verifica-se também a

existência de espaços vazios entre as partículas nos sistemas líquidos, condição necessária para justificar o movimento das partículas, como foi expresso em suas falas.



Figura 1: Representações propostas pelas alunas para os sistemas a) o sólido permanganato de potássio; b) a água líquida; c) a solução do copo 1; d) a solução do copo 2; e) a solução do copo 3; f) a solução do sistema da parte dois após 5 minutos.

Porém, mesmo que tivessem construído modelos representacionais para os estados sólido e líquido, utilizando a idéia de partículas, as alunas apresentam dificuldades de utilizar essa noção para explicar outros fenômenos. O problema com a acomodação da idéia pode ser evidenciado nas tarefas seguintes.

A expansão do ar sob aquecimento

As alunas aqueceram um frasco de vidro, contendo um balão de festas preso ao seu bocal. Depois de algum tempo de aquecimento, o balão está inflado. Em seguida as alunas responderam questões relacionadas ao experimento. As primeiras respostas dadas às questões restringiram-se apenas as manifestações fenomenológicas: “impulsionou o ar” e “o ar... fosse impulsionado”, o ar “subiu para o balão”. Ou seja, a substância ar saindo do frasco e indo para o balão de festas.

A idéia de partícula só foi utilizada nas questões 7 e 8, onde, explicitamente, foi solicitado a utilização da idéia de partículas. A questão 7 propõe a realização de representações (desenhos) explicativas para as partículas de ar no frasco de vidro, antes e depois do aquecimento. A questão 8 pede para explicar como o balão de festa ficou inflado, utilizando a idéia de pequenas partículas constituintes das substâncias. Depois de um pequeno diálogo, as alunas chegaram a seguinte resposta: “São pequenas partículas, mas são muitas. Com o aquecimento as partículas de ar se espalham, inflando o balão”. Pode-se notar na resposta dada a essa questão, que as alunas conseguem utilizar uma explicação “submicroscópica” para o fenômeno visível do balão de festas inflar, nessa explicação usam um modelo onde “as partículas de ar se espalham, inflando o balão”. Pela resposta fornecida, também, evidencia-se a conservação das características das partículas, elas não se alteram com o processo. Apenas muda a configuração entre elas, pois elas “se espalham”.

Mesmo que as alunas estivessem ampliando suas idéias sobre as partículas constituintes das substâncias, elas ainda não as utilizaram prontamente para explicar os fenômenos. A proposição de explicações utilizando partículas foi feita apenas quando o termo foi mencionado nas questões ou nas falas do professor. Essa característica, também, ocorreu na aula seguinte, sobre a evaporação e a condensação do éter.

Evaporação e condensação do éter em sistema fechado

Nessa atividade, o professor realizou o experimento de forma demonstrativa, questionando as alunas sobre o que elas observavam e solicitando que propusessem explicações para o que observavam. As primeiras explicações, embora estivessem corretas, não utilizaram o nível submicroscópico. Elas indicaram que o vapor iria passar de um lado para o outro (de um balão para o outro), mas não disseram, como seria (ou fora) esse movimento do vapor. Na atividade anterior, como se mostrou, as alunas expressaram a idéia que as partículas do ar se espalhavam. Porém, aqui, não utilizam essa idéia para explicar a movimentação do vapor do líquido incolor (éter).

Em outro momento da discussão, conforme a seqüência 7, o professor começou a utilizar a idéia de partículas em seus questionamentos e explicações, dando ênfase a conservação das partículas, ou seja, elas não mudam, o que muda é a interação entre elas nos diferentes estados físicos. Na seqüência, o professor, também, fez relações entre a densidade e a distância entre as partículas no estado gasoso, no qual o número de partículas, comparado aos demais estados físicos, não muda, mas sim o volume total ocupado por elas. Portanto, a densidade no gás é menor.

As diferenças de configuração, entre as partículas “*mais agrupadas*” no líquido (fala 4) e “*se dispersam*”. (fala 6) ou “*se espalham*” (fala 7) no vapor, foram sugeridas pelas alunas. Esse esquema de cerrar/descerrar (conforme os termos piagetianos), onde há um aumento gradativo das distâncias entre as partículas do sólido para o líquido e para o vapor, é utilizado pelas alunas com maior facilidade e frequência. Porém, elas não utilizam esse esquema para explicar alguns comportamentos característicos dos estados físicos. Parece que as alunas construíram seus modelos parciais, pensando mais nas distâncias entre as partículas, do que no movimento das mesmas. Talvez, isso possa ter sido causado pela própria representação solicitada, em desenhos estáticos no papel.

Seqüência 7: (1) PRO: “*Vamos agora a idéia de partícula. Se eu tenho uma partícula aqui, ela está saindo do líquido e indo para o vapor. A partícula está se modificando?*”. (2) ITE: “*Não*”. (3) PRO: “*Não. A partícula não se modifica, né? Tanto que quando ela volta aqui para o lado de cá [balão frio] ela é a mesma substância*”. (4) BRU: “*É que aqui ela está mais agrupada né?*”. [tem sua fala interrompida] (5) PRO: “*Aqui [balão quente] elas estão mais agrupadas. Quando passa para o vapor o que acontece com o grupamento delas?*”. (6) BRU: “*Elas se, se dispersam*”. (7) ITE: “*Se espalham*”. (8) PRO: “*Se espalham, certo*”. (9) PRO: “*Elas se espalham, estão se espalhando. Como a gente pode perceber bem isso? Pela própria densidade dos líquidos e dos gases, né? Os gases não são muito menos densos que os líquidos e os sólidos?*” (10) [...] (11) PRO: “*Se a partícula não muda, a massa dela muda?*”. (12) ITE: “*Não*”. (13) PRO: “*Não, basicamente o que vocês disseram que mudou. A distância entre elas, não é?*”.(14) [Alunos confirmam] (15) [...]. (16) PRO: “*Então em três dimensões vai ser o volume. Então se está aumentando a distância entre elas, está aumentando o volume entre elas. Né? Então se a massa é a mesma e o volume é maior, o que acontece com a densidade?*”. (17) [...] (18) PRO: ... *tem mais espaço entre as partículas, por isso o volume vai ser maior também. Por isso a densidade do gás é menor*”.

Sublimação do iodo

Nessa atividade, as alunas tiveram um comportamento diferente quanto à utilização da idéia das substâncias serem formadas por partículas. Ela foi evidenciada muito mais freqüente e, às vezes, as alunas a usaram para complementar as respostas dadas às questões onde não seriam mesmo necessárias. Por exemplo, para a questão “*Descreva o aspecto do sólido*”, a resposta foi: “*O sólido estava na forma de bolinhas³, tem cor metálica, e por ser sólido, tem partículas bem agrupadas*”.

A resposta dada à questão: “*Explique sua resposta à questão anterior (O que você acha que irá acontecer quando o sólido for aquecido?)*” foi elaborada rapidamente, utilizando, as idéias sobre partículas: “*Porque acredito que o aumento da temperatura faça com que as suas partículas se dispersem dando forma de pó ao sólido⁴*”. Nessas explicações, elas conseguiram relacionar causa (aumento da temperatura) e efeito (“sólido se desmanchando e virando pó”), através de uma visão “submicroscópica” (partículas se dispersando), ainda que manifestassem dificuldades na conservação da substância (Samrsla, Eichler e Del Pino, 2007). Inicialmente, declararam que o sólido inicial e o vapor violáceo não eram a mesma substância. Somente, quando foi realizado o reaquecimento do iodo cristalizado, entenderam se tratar da mesma substância, propondo a conservação da substância e aplicando o esquema de cerrar/descerrar na interpretação e explicação das transformações de estado físico.

A aluna MAI, que pouco expressava seus pensamentos, também utilizou a idéia de partículas: “*Não é a dispersão das partículas que se abrem e...*” (fala 2, seqüência 8). Pôde-se verificar novamente o uso do modelo de partículas onde não seria necessário (fala 5).

Seqüência 8: (1) BRU: “*O que é a cor dentro do tubo? É o sólido se transformando em vapor*”. (2) MAI: “*Não é a dispersão das partículas que se abrem e...*”. [BRU interrompe] (3) BRU: [inaudível] “*... se está no vapor as partículas já estão dispersas*”. (4) [...] (5) BRU: “*O professor a 5 pergunta o que é a cor que surge dentro do tubo, eu coloquei: é o sólido se transformando em vapor, ou seja, suas partículas ficam bem dispersas, é isso?*”

³ “Bolinhas” refere-se a forma do iodo sólido que foi colocado no balão.

⁴ As alunas tinham considerado, em sua resposta à questão anterior, que o sólido ao ser aquecido se “*desmancha, tornando-se pó*”. As ações nas quais as alunas criaram essa idéia não foram acompanhadas pelo professor. Assim ele não teve a oportunidade de questionar sobre o entendimento que as alunas tinham de “*virar pó*”.

Questionadas sobre a quantidade de material inicial e final contidos dentro do frasco, as alunas demonstraram a noção de conservação da matéria. Elas explicaram isso pela conservação das partículas: “as partículas só se dispersam” e “o sólido é o mesmo... a quantidade é a mesma”.

A idéia de diferenciar os estados físicos pela distância entre suas partículas foi utilizada para explicar o que ocorreu no sistema (seqüência 9). Essa explicação (fala 1), entretanto, foi feita somente para os estados físicos e não para as transformações de um estado em outro. O professor questionou sobre a mudança de configuração das partículas (fala 2). As alunas relacionaram prontamente essa mudança à temperatura (fala 3). Após o pedido do professor para incorporarem essa informação nas suas respostas, elas atribuíram o aumento de temperatura ao “desagrupamento” (separação) das partículas e o abaixamento da temperatura ao agrupamento das mesmas.

Seqüência 9: (1) BRU: “A 17 pergunta Utilizando a idéia de pequeníssimas partículas constituintes das substâncias explique o que ocorreu no sistema? Eu botei assim ó. Quando sólidas, as partículas estavam bem agrupadas, quando vapor as partículas ficaram dispersas, quando brilha ele estava com suas partículas bem agrupadas, pois também é sólido. (2) PRO: “E o que fez as partículas se agruparem e se desagruparem?”. (3) BRU: “A temperatura”. (4) PRO: “Então coloca”. (5) [...] (6) BRU: “MIL eu complementei assim. As partículas são desagrupadas quando há um aumento de temperatura e agrupadas quando há resfriamento”.

Mistura de água e álcool

A generalização de um modelo representacional para um determinado estado físico gera representações iguais para substâncias diferentes. Isso foi percebido pela a aluna BRU quando fez representações para a água e para o álcool. Ela solucionou o problema propondo partículas diferentes para cada substância: “Eu vou desenhar umas bolinhas e umas estrelinhas”, sugerindo assim uma idéia de que substâncias diferentes são formadas por partículas diferentes.

A tentativa de utilizar a idéia de partículas para responder as questões continuou marcante. Questionadas sobre o que ocorreria quando fossem misturados os líquidos (seqüência 10), elas buscaram respostas envolvendo partículas, manifestando dúvidas sobre se as partículas iriam se misturar ou não.

Seqüência 10: (1) BRU: “O que vai acontecer? As partículas vão se misturar ou não?”. (2) MAI: “Foi isso que eu coloquei. Que eles iam se misturar”. (3) BRU: “Mas será que vão?”. (4) ITE: “Eu acho que não”. (5) MAI: “Eu acho que sim”. (6) [...] (7) BRU: “Ai meu Deus, o que a gente espera que aconteça. São partículas diferentes será que elas irão se misturar?”.

A mistura foi realizada e houve uma redução do volume da mistura de 100 mL para 98 mL. As alunas não conseguiram entender esta redução, pois não relacionam o fenômeno às idéias de partículas que estavam construindo. Elas tentaram explicar a redução do volume pela evaporação dos líquidos da mistura, ou, já que os líquidos apresentados como controle não evaporaram, imaginaram algum outro tipo de ação que foi realizada sobre os mesmos. O professor, junto ao grupo, indicou que a redução de volume não foi causada pela evaporação dos líquidos. Solicitando, dessa forma, que elas buscassem outras causas para explicar o fenômeno, relacionando-as com o modelo de partículas.

Em seguida (seqüência 11), o professor utilizou os modelos desenhados pelas alunas para os líquidos água e álcool (Figura 2), questionando sobre os espaços onde não havia partículas desenhadas. Posteriormente, procurou relacionar a diminuição dos espaços vazios quando as substâncias eram misturadas à diminuição de volume da solução resultante.

Seqüência 11: (1) PRO: “Pelos modelos que a gente está criando aqui assim”. [PRO aponta para a folha de BRU na qual estavam as representações da água e do álcool, para em seguida apontar para a representação feita para a água (figura 3 acima)]. “Tem só partículas aqui?”. (2) ITE: “Sim”. (3) BRU: “Como assim?”. (4) PRO: “Tem partícula aqui, tem partícula aqui” apontando para as partículas desenhadas na representação da água. PRO indica na representação um local onde está desenhada uma partícula e comenta: “Tem uma partícula aqui, certo?”. (5) BRU: “Certo”. ITE: “Sim”. (6) Agora apontando para outra partícula desenhada PRO comenta: “O que tem aqui? Partícula não é?”. (7) BRU: “Sim”. ITE: “Sim, todas são”. (8) PRO: “O que tem aqui?”. Apontando para uma região em branco na representação. (9) PRO: “Você desenhou partículas aqui?”... (10) BRU: “Não, mas deve ter”. (11) PRO: “Mas tu não desenhou. O que é para ser aqui? O que é para ter aqui onde tu não desenhou nada?”. (12) BRU: “Aí professor! O que é para ter ali?”.. [Pergunta para ITE]. (13) ITE: “Nada”. (14) PRO confirma: “Nada! Não

é?”. (15) BRU: “Ai que lógica esta resposta”. (16) PRO: “Ou a gente pode dizer que está um espaço vazio, se não tem nada ali, não é?”. (17) BRU: “Aha, tá”. (18) PRO: “Quando tu mistura este com este”, apontando para os desenhos do álcool e da água, “será que este espaço vazio não pode diminuir?”. (19) ITE: “Juntar?”. (20) PRO: “Tu não misturou tudo? Não vão estar misturadas estas partículas com estas partículas?”. Apontando para as partículas de água e álcool das representações da folha. “Elas podem se juntar e diminuir o espaço vazio que tem entre elas. É uma próxima interação que tem ai”. (21) BRU/MAI: “Porque no juntar-se as partículas, quando as partículas se juntaram diminuiu o espaço vazio entre elas”.

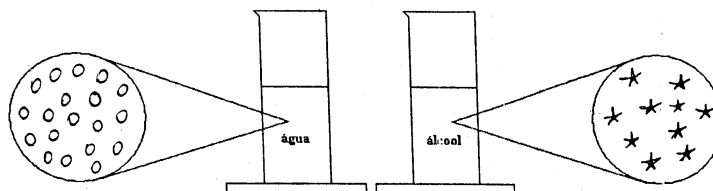


Figura 2: Representações para as partículas dos sistemas água e álcool.

A atividade terminou com uma questão que propôs a utilização de desenhos para representar como as partículas seriam encontradas na mistura de água e de álcool. Pelo desenho proposto (Figura 3), observa-se primeiramente a conservação das partículas representadas pelo mesmo tipo de figura (bolinhas e estrelas), e a representação do espaço vazio, porém em proporção menor, como forma de explicar a diminuição de volume na mistura.

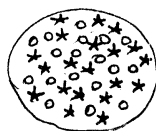


Figura 3: Representações para as partículas de água e álcool na solução resultante dos dois líquidos

Considerações finais

A idéia de partículas constituintes das substâncias pertence a uma realidade cujos objetos não podem ser percebidos pelos sentidos humanos. Dessa forma, sua compreensão exige abstração. Muitas vezes, por isso, são utilizadas analogias com objetos que possam ter um acesso direto aos nossos sentidos. Por exemplo, a noção que as partículas estão em movimento só foi melhor compreendida após a utilização de analogia realizadas pelo professor com o movimento de sistemas macroscópicos (pessoas se deslocando). Essas analogias funcionam momentaneamente, mas se os alunos não conseguem transpor a idéia para o nível submicroscópico, as associações se tornam transitórias. Em função disso, o aluno não consegue construir modelos que incorporam essa característica. Nesse sentido, a característica do movimento das partículas foi o que as alunas menos manifestaram em suas falas.⁵

Algumas limitações das análises das seqüências de diálogos se devem às situações da sala de aula, que são diferentes das de uma entrevista clínica, pois não permitem ao professor tentar entender todas as colocações feitas pelos alunos sobre determinado conceito para determinar a origem de tal argumentação e/ou pensamento. Além disso, o professor não pode ficar questionando, sugerindo e argumentando indefinidamente com seus alunos até que eles expressem ou elaborem os conceitos pretendidos pelo professor.

Nossa análise constatou que as alunas conseguiram construir um modelo que reuniu algumas noções (ou esquemas) sobre a constituição das substâncias, dentre as quais: i) as substâncias são formadas por partículas extremamente pequenas; ii) e por espaços vazios; iii) as partículas não se modificam (massa, volume, etc); iv) partículas diferentes correspondem à substâncias diferentes; v) a configuração entre as partículas é diferente nos três estados físicos; vi) a diferenciação dos estados físicos é feita principalmente com relação às distâncias entre as partículas; e vii) há diferença na movimentação das

⁵ Aspectos sobre a movimentação das partículas nos diferentes estados físicos foram trabalhados em atividades posteriores, que não foram aqui analisadas.

partículas nesses estados físicos (porém esta característica é utilizada poucas vezes para explicar os fenômenos).

Entendemos, portanto, que é possível afirmar que houve evolução dos estudantes em relação à compreensão dos fundamentos da organização da matéria a nível submicroscópico. Houve o desenvolvimento na proposição dos modelos parciais utilizados para a explicação dos fenômenos estudados em sala de aula. As estudantes conseguiram compreender a constituição da matéria por partículas e que essas determinam as características observadas e as propriedades físico-químicas das substâncias.

As explicações causais, que corresponderiam aqui às aquisições dos conhecimentos escolares, vão além da simples observação dos fenômenos pelos alunos. Elas só são possíveis, no caso dos fenômenos observados, quando os estudantes conseguem ir além dos dados empíricos, quando se busca atribuir e aplicar esquemas ao observável, quando são necessárias as conclusões retiradas das hipóteses que se tornaram possíveis, quando se questiona a causa do fenômeno, quando são criadas soluções para essas questões, quando, por fim, há a produção de conhecimento novo para o sujeito.

Difícilmente os alunos conseguiriam realizar esses processos sozinhos. Por isso, a estratégia didática de trabalhar em pequenos grupos de alunos se mostrou positiva, pois os alunos puderam auxiliar-se mutuamente na construção do conhecimento. Nesse sentido, não se pode esquecer que faz parte dessa estratégia o diálogo com o professor, que a partir de suas orientações, exposições, sugestões e contra-sugestões, exerce o papel de mediador na construção do conhecimento.

Referências bibliográficas

- Astofi, J. P.; Develay, M. *A Didática das Ciências*; Campinas: Papirus, 1990.
- Barker, V. Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas. Londres: Disponível em: <<http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>>. Acesso em: 15/08/2005. Ano de publicação: 2000.
- Benarroch, A. El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 235-246, 2000.
- Eichler, M.L.; Parrat-Dayán, S. e Fagundes, L.C. Concepções de adolescentes e de adultos sobre as mudanças de estado do éter. *Submetido à publicação*, 2007a.
- Eichler, M.L.; Parrat-Dayán, S. e Fagundes, L.C. Concepções de adolescentes e de adultos sobre a sublimação do iodo. *Submetido à publicação*, 2007b.
- Gómez, E.J.; Benarroch, A. & Marín, N. Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 577-598, 2006.
- Inhelder, B. Epistemología genética y psicología da causalidad física. Em J. Piaget & L. Apostel. *Construcción y validacion de las teorías científicas: contribución de la epistemología genética*. Buenos Aires: Paidós, 1986, 46-57.
- Krnel, D.; Watson, R. & Glázar, S.A. The development of the concept of 'matter': a cross-age study of how children describe materials. *International Journal of Science Education*, 27 (3), 367-383, 2005.
- Krnel, D; Glazar, S.A. & Watson, R. The development of the concept of 'matter': a cross-age study of how children classify materials. *Science Education*, 87, 621-639, 2003.
- Nakhleh, M.B.; Samarapungavan, A. & Saglam, Y. Middle school students' beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 581-612, 2005.
- Parrat-Dayán, S. Psicologia de Piaget Aplicada à Educação: Como Isto Funciona?. *Revista Escritos sobre Educação*, 2 (2), 33-42, 2003.
- Piaget, J. *Epistemologia genética*. São Paulo: Martins Fontes, 1990.
- Samrsla, V.E.E.; Eichler, M.L.; Del Pino, J.C. A elaboração conceitual em realidade escolar de noções de conservação da matéria. *Revista Electrónica Enseñanza de las Ciencias*, (a aparecer), 2007.
- Samrsla, V.E.E.; Guterres, J.O.; Eichler, M.L.; Del Pino, J.C. Da mineralogia à Química: uma proposta curricular para o primeiro ano do Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, 25, 20-26, 2007.
- Stavy, R. Children's conceptions of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science teaching*, 27 (3), 247-266, 1990.