

Concepções de adolescentes e de adultos sobre as mudanças de estado do éter

Marcelo Leandro Eichler¹, Silvia Parrat-Dayan² e Léa da Cruz Fagundes³

¹Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Brasil. E-mail: exlerbr@yahoo.com.br;

²Université de Genève. Suíça. E-mail: Silvia.Parrat-Dayan@pse.unige.ch;

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil. E-mail: leafagun@ufrgs.br.

Resumo: Neste artigo, retoma-se uma das investigações realizadas por Piaget visando ao estudo da explicação causal. O tema foi a mudança de estado da matéria, utilizando-se para isso a vaporização e condensação do éter em um sistema fechado. A pesquisa de Piaget foi realizada com crianças e adolescentes, mantendo o perfil de suas investigações psicogenéticas. Por outro lado, aqui, relata-se uma pesquisa sobre as mudanças de estado do éter realizada com sujeitos adolescentes e adultos. Os resultados obtidos evidenciam os diferentes níveis de pensamento manifestos pelos sujeitos, podendo-se concluir que os sujeitos dos níveis mais avançados apresentam relações de legalidade que estão ao alcance da generalização empírica e que suas explicações são realizadas através de modelos corpusculares, ainda que esses apresentem diferentes graus de entendimento.

Palavras-chave: Explicação causal, mudanças de estado da matéria, pensamento operatório-formal, concepções alternativas.

Title: Teenagers' and adults' perceptions of state changes of ether.

Abstract: This research resumes Piaget's investigations about the causal explanation by choosing as a topic the change of state of matter. The evaporation and condensation of ether in a closed system is employed for such a purpose. Although Piaget used to employ children and teenagers in his psychogenetic investigations, this study reports a research about the state changes of ether carried out with teenagers and adults. The obtained results show different levels of reasoning presented by the individuals. By analysing the results one can conclude that individuals in more advanced levels presented notions of lawfulness based on empirical generalization, and their explanations are based on corpuscular models, even though they presented different levels of understanding.

Keywords: Causal explanation, change of state of matter, formal-reasoning stage, alterative conceptions.

Introdução

Em Didática das Ciências o chamado “movimento das concepções alternativas” é um dos marcos do estabelecimento desse campo de estudos ou disciplina (Cachapuz e colaboradores, 2001; Schnetzler, 2002). Entretanto, há de se notar que no decorrer da obra de Jean Piaget, as investigações sobre esse tema, ainda que não utilize a mesma terminologia, fazem parte de seu projeto de pesquisa.

As questões de pesquisa ou as tarefas experimentais estudadas por Piaget e por seus colaboradores que, de alguma forma, tangenciam noções que se relacionam com as concepções sobre as transformações físicas aparecem em Piaget e Inhelder (1971), Inhelder e Piaget (1976) e Piaget e Garcia (1971). Entre essas noções podem ser ressaltadas as de atomismo, de densidade e de mudança de estado da matéria. Do ponto de vista teórico e metodológico também existem interações com Piaget (1961) e Piaget e Inhelder (1977), em que se buscou interpretar, entre outras, a percepção e a imagem do espaço geométrico. Por essas interações conceituais foi possível postular a máxima: “é a escala que cria o fenômeno” (Piaget e Inhelder, 1977, p. 521).

O estudo sobre o desenvolvimento das quantidades físicas foi realizado com noções de substância, peso e volume. Esse estudo visou a verificar e interpretar a passagem de um estado fenomenista e egocêntrico para outro em que as quantidades são extensivas e mensuráveis. Conforme Piaget e Inhelder (1971), uma quantidade é um contínuo e, em vez de se dividir em objetos distintos, apresenta-se como um caráter irreduzível das coisas, apreendido graças a ações particulares do sujeito. A substancialidade foi considerada o caráter daquilo que pode ser agarrado e encontrado. O peso, daquilo que pode ser levantado. Finalmente, a volumosidade, daquilo que pode ser rodeado e contornado. Essas noções foram associadas, entre outras, à evolução do atomismo e da densidade. O atomismo foi estudado, por exemplo, através de um clássico experimento que envolvia a dissolução do açúcar, recuperando e ampliando uma antiga experiência empreendida por Inhelder (1936).

No estudo sobre as explicações causais (Piaget e Garcia, 1971), os modelos corpusculares foram evidenciados no pensamento operatório para explicações das composições internas dos corpos (§7 do livro) e das mudanças de estado da matéria (§8 do livro). Os estudos de epistemologia genética que subsidiaram a escrita desses parágrafos (na relação incluída nas páginas de 138 a 140, as pesquisas de números 21 a 27) envolveram noções de solubilidade, miscibilidade, flutuação e difusão de sólido em líquido e de líquido em líquido, bem como as mudanças de estado da matéria: de sólido a líquido, de líquido a gasoso e de gasoso a líquido. A maior parte desses estudos não foi publicada - os manuscritos dessas pesquisas são encontrados nos *Archives Jean Piaget*, na Universidade de Genebra -, com exceção de Piaget e Chatillon (1975). Nesse artigo, os autores enfatizam que outros estudos (Piaget e Inhelder, 1971) foram baseados sobre os esquemas corpusculares utilizados, ou não, para explicar os resultados da dissolução do açúcar e, também, sobre as etapas de interpretação da flutuação. No entanto, ressaltam que não

havia estudado as causas atribuídas ao próprio processo da dissolução, nem as condições da mistura entre líquidos, entendendo que a questão merece um exame do ponto de vista da causalidade.

Nos estudos sobre as explicações causais dos sujeitos para as transformações físicas, Piaget e Garcia (1971) apontam a estreita vinculação existente entre as operações do sujeito e a causalidade dos objetos. Essa vinculação, evidenciada em múltiplos estudos epistemológicos anteriores, pode ser descrita através de duas constatações. A primeira, “a própria leitura de uma experiência exige o emprego de instrumentos de assimilação que tornam essa leitura possível, dito de outra maneira, ela supõe a utilização de estruturas operatórias” (p. 127). A segunda, “as conexões causais, todas repousando em parte sobre as informações obtidas por abstrações simples (...), ultrapassam inevitavelmente, na qualidade de conexões, o domínio dos observáveis” (p. 128).

A análise da relação entre operações e causalidade aponta para duas conclusões gerais. A primeira é que “a causalidade não se confunde com a legalidade, e isso desde nossos estágios elementares tanto quanto aos diversos patamares do conhecimento científico” (p. 131). Essa diferença é apoiada pelos seguintes fatos:

1) a legalidade se eleva da constatação e se porta sobre as relações observáveis, enquanto que as conexões causais ultrapassam as fronteiras do observável;

2) a legalidade se atém apenas às relações gerais, enquanto que a causalidade comporta as ligações necessárias;

3) uma lei, mesmo geral, pode permanecer isolada, enquanto que sua explicação causal comporta diversas relações coordenadas em um sistema e somente esse sistema é fonte de necessidade; e

4) a legalidade comporta somente operações aplicadas aos objetos, enquanto que, justamente em virtude dos outros três fatos, a causalidade exige uma atribuição das próprias operações aos objetos por eles mesmos.

A segunda conclusão de Piaget tem a ver, efetivamente, com a diferenciação que ele postula entre *operações aplicadas* e *operações atribuídas* ao objeto.

Consideram-se *operações aplicadas ao objeto* aquelas na qual o sujeito se serve de suas próprias operações lógico-algébricas e geométricas (ou um conjunto de operações) para ler, descrever ou formular os observáveis físicos (por exemplo, os colocar em equações). Ou seja, esse tipo de operação se limita à exploração dos observáveis sem modificar os objetos. Um exemplo é a descoberta empírica de uma lei $y = f(x)$ – como a queda dos corpos –, ou uma correspondência qualquer.

Por sua vez, entende-se por *operações atribuídas ao objeto* aquelas que envolvem operadores ativos que agem sobre um outro objeto de maneira semelhante a qual o sujeito poderia agir sobre ele. Esse tipo de operação está envolvida na construção de um modelo causal, que visa a compreender como

os objetos agem por si, como uma necessidade intrínseca a seu próprio conteúdo. Um exemplo é a suposição que todo o corpo em queda sofre a ação de uma força atrativa, embora nenhum humano possa sentir qualquer força de atração.

A essência da segunda conclusão geral das pesquisas sobre as explicações causais é que “essas operações ‘atribuídas’ não são simplesmente sobrepostas àquelas que seriam ‘aplicadas’ na constituição da legalidade. (...). O próprio da causalidade é assim sempre comportar um sistema de transformações, sem poder se reduzir a uma simples relação de causa e efeito, como supõe o senso comum” (pp. 133-134). Dito de outra forma, a causalidade seria o conjunto de modelos construídos por meio das ações ou operações atribuídas pelo sujeito ao objeto, servindo de instrumentos aos ensaios de explicação.

Feita essa descrição geral, registra-se que Piaget entendera que um domínio particularmente rico de combinações entre as abstrações empíricas e as abstrações reflexionantes¹, que intervêm na solução de todo o problema causal, é o das noções que a criança se oferece da composição dos corpos e das mudanças de estado da matéria.

Nesse sentido, Piaget retoma, brevemente, os resultados obtidos com a experiência da dissolução do açúcar e sua relação com o desenvolvimento dos modelos corpusculares, ou das intuições atomísticas, como chamara outrora². Além disso, apresenta resumidamente um relato de outras pesquisas sobre a composição interna dos corpos, em que destaca aquela que buscou a relação entre algumas propriedades de líquidos e de sólidos, tais como viscosidade e densidade, e sua interpretação causal. Em linhas gerais, as interpretações oferecidas pelas crianças, descritas através de etapas, não diferem muito daquelas que foram constatadas no estudo sobre a conservação das quantidades físicas (Piaget e Inhelder, 1971).

O desenvolvimento de modelos corpusculares para as mudanças de estado da matéria, que é um tema de diversas pesquisas na comunidade dos educadores em ciência (Barker, 2000; Cachapuz e outros, 2001; Schnetzler, 2002), foi abordado por Piaget através da fusão da gordura (cetáceo) e da parafina e da evaporação e condensação do éter em um sistema fechado (destilador de Franklin). Nessas pesquisas, as questões postas aos sujeitos durante as entrevistas clínicas se referiam à antecipação, constatação e explicação das mudanças de estado da matéria.

Nessas investigações, Piaget e Garcia (1971) apontam que o início da conservação da matéria nos processos de fusão é menor “que no caso do açúcar que se dissolve em água” (p. 41). Sem que os autores tenham ampliado tal comparação, questionam se o esquema de

¹Em Piaget (1995) podem ser encontradas as definições sobre os tipos de abstrações, sobre seu papel no funcionamento cognitivo e sua relevância na análise epistemológica. Nesse livro, os diferentes graus de abstração são isolados para efeitos de análise, uma vez que eles funcionariam de forma solidária no curso da apreensão da realidade. Ainda mais, Piaget propõe uma relação entre os processos de abstração e de reflexão, conferindo aos graus mais desenvolvidos das abstrações o nome de *abstração reflexionante*.

² Talvez em acordo com Gaston Bachelard, em seu *Les Intuitions atomistiques (Essai de classification)*, de 1933.

compressão/descompressão, que havia sido identificado nos estudos sobre a dissolução do açúcar em água, seria mais difícil de ser atribuído pelos sujeitos às mudanças de estado da matéria.

As mudanças de estado entre líquido e gasoso foram realizadas com um equipamento chamado de “destilador de Franklin” (Piaget e Uzan, s/d). O equipamento consiste de dois balões de vidro ligados por um tubo de vidro. Inicialmente, um dos balões está com um pouco de éter sulfúrico e outro está vazio. O balão contendo o éter é mergulhado em um pote de água quente, ao mesmo tempo em que o balão vazio é mergulhado em um pote de água fria. A evaporação do líquido resulta um gás invisível que, ocupando todo o equipamento, condensa-se no balão mergulhado na água fria.

Em uma primeira etapa (nível IA), os sujeitos não admitem a passagem da matéria de um balão ao outro. Eles observam que o líquido diminui em um dos balões e aumenta no outro, mas preferem crer que a “água”³ vem de fora, ou sai pra fora, apesar do dispositivo estar visivelmente fechado. Em uma segunda etapa (nível IB), admite-se a passagem da matéria, mas não se confere qualquer explicação para isso. Em uma terceira etapa (nível IIA), nota-se a conservação da matéria, mas não se observam idéias sobre a evaporação. As primeiras idéias sobre a evaporação surgem em uma quarta etapa (nível IIB), mas se observa uma hesitação entre idéias de transformação e de emanação. Enfim, em uma quinta etapa (nível III), o vapor é reconhecido como “minúsculas parcelas de água”, que no estado líquido “estão reunidas, mais apertadas”.

Em Piaget e Garcia (1971), nas conclusões da seção dedicada às mudanças de estado da matéria (§8), os autores declaram que esses fenômenos “colocam ao sujeito problemas por muito tempo insolúveis” (p. 42), apesar de, em escala macroscópica, as ações cotidianas imporem as noções de apertado e espaçado. Por exemplo, como no caso do gelo, em que a experiência familiar sugere-o ser “de água colada” ou “junta” (note-se, entretanto, que há aumento de volume quando da passagem da água do estado líquido para o estado sólido).

Nesse sentido, verifica-se ao início a recusa do sujeito em admitir uma identidade da substância entre os estados alternativos, ocorrendo a tendência a utilizar idéias de emanação, ao invés de transformação. Mesmo ao fim, as operações em jogo nas explicações são apenas elementares, envolvendo partículas que na passagem de estado se espaçam, tratando de atribuí-las aos micro-objetos não perceptíveis.

Desde outro ponto de vista, as concepções de adultos sobre a produção de vapor e, posteriormente, liquefação em um aparato de destilação foram investigados por Valanides (2000b). O método de pesquisa e os resultados a que se chega são muito similares aos encontrados em Valanides (2000a), ou seja, a maioria dos sujeitos – futuros professores de escola primária em

³As aspas nesse e no próximo parágrafo se referem aos excertos das falas dos sujeitos entrevistados por Piaget e Uzan (s/d).

formação inicial – mostraram uma limitada compreensão dos modelos corpusculares da matéria e fizeram pouca conexão entre as mudanças macroscópicas observáveis e a maneira como os corpúsculos se encontram em conjunto e como se movem uns em relação aos outros. Um outro resultado, que é relevante ao que se está abordando, é que quase todos os sujeitos atribuíram as propriedades macroscópicas dos materiais aos próprios constituintes submicroscópicos. Assim, por exemplo, quando houve expansão de volume, isso ocorrera porque as moléculas (ou outro corpúsculo qualquer) teriam dilatado.

A partir dos resultados de suas investigações com adultos, Valanides faz a crítica à universalidade da teoria dos estágios de Piaget, em especial às operações formais. Entretanto, como foi abordado em outros lugares (Eichler, 2001 e 2004), a atenção teórica de Piaget esteve voltada à elaboração de um modelo para a teoria do conhecimento que desse conta do desenvolvimento das operações lógico-matemáticas, em sua relação com a realidade física, entre o início da vida e a adolescência, quando se constituiriam as condições necessárias e suficientes para o surgimento e consolidação das operações lógico-matemáticas formalizadas, por isso independentes do conteúdo. Nesse sentido, não é de se estranhar que tenha dado pouca atenção ao funcionamento cognitivo na idade adulta. Apesar de pouco ter escrito sobre o assunto, não se deve negligenciar a atenção que ele dedicou a tal (Piaget, 1972 e 1987a).

Inicialmente, em concordância com Lourenço (1992), em sua bela resposta às maiores críticas à obra piagetiana, deve-se observar as revisões introduzidas por Piaget (1972) em sua teoria e ao papel do pensamento formal nela. Nesse artigo, que é muitas vezes ignorado por seus críticos, pode ser notado que Piaget:

1) modificou sua posição quanto às idades aproximadas para a emergência do pensamento formal, se antes (Inhelder e Piaget, 1976) supunha entre os 11/12 e 14/15 anos, então admitia uma nova faixa etária, que seria entre os 15 e 20 anos;

2) defendeu a sua dependência do contexto, tornando-o menos epistêmico, ou seja, menos freqüente em qualquer sujeito e menos generalizável a domínios diferenciados (por exemplo, ele citara as dificuldades possíveis à emergência do pensamento jurídico); e

3) acrescentou, em suas últimas obras sobre o possível e o necessário (Piaget, 1986 e 1987b), que o desenvolvimento é uma contínua abertura a novas possibilidades e que, portanto, é um processo que não tem fim. Em relação à realidade física, pode-se encontrar sua posição sobre a transição entre teorias científicas na obra em que propõe a relação entre psicogênese e história das ciências (Piaget e Garcia, 1987). Nessas transições poderia ser observado o papel das abstrações empíricas e reflexionante nos movimentos de aberturas possíveis às novas hipóteses, bem como o papel das integrações e generalizações conceituais necessárias a domínios mais extensos ou novos.

As condutas cognitivas de adultos, também, foram brevemente tratadas por Piaget (1987a) na introdução da seção que trata do tema no volume sobre psicologia, da *Encyclopédie de la Pléiade*, que ele co-organizou. Nessa introdução, em que depois evoca o que elaborara em Piaget e Garcia (1987), encontra-se o seguinte:

“Os diferentes estágios das condutas cognitivas são, de fato, caracterizados por invenções contínuas de estruturas. (...) O pensamento formal do adolescente marca uma nova etapa mas, quando se torna adulto, uma distinção fundamental ainda resta por fazer se se quer dominar os problemas da organização cognitiva. Falando apenas de extremos, há, de uma parte, o adulto “que chegou”, que não inventa mais nada, mas *utiliza e explora aquilo que ele tem apreço*, e se pode concordar que a seu respeito se está na presença de um estágio “último”, salvo que não se trata mais de um estágio no mesmo sentido que os precedentes, pois nele não há mais criatividade. Mas há, no outro extremo, o adulto criador em todos os domínios (ciências, artes, técnicas, moral ou causas sociais a defender, etc.) e, na perspectiva do desenvolvimento, seria inteiramente rejeitado não considerar essas construções como a autêntica continuação dos processos formadores, cujas raízes nós procuramos na criança. (...) Dito isso, nos parece, então, indispensável apontar (...) dois grandes problemas, não abordados nos capítulos que seguem: aquele da construção de novas estruturas operatórias ao nível do pensamento científico, e aquele das escalas de valores ligadas a essa pseudo-faculdade que batizaram pelo nome de “vontade” e que é em realidade a correspondente das operações sobre o terreno energético” (grifos nossos; pp. 847-848).

Conforme Lourenço (1992), “o aparecimento tardio dessas obras deve ser além de outras, uma razão para os críticos continuarem a dizer que Piaget fez parar o desenvolvimento na adolescência” (p. 104). Cabe, ainda registrar, como advertem Ferreiro (2001) e Parrat-Dayan (2000), que tais obras, bem como aquelas sobre a tomada de consciência (Piaget, 1977a e 1978) e sobre a equilíbrio (Piaget, 1977b), devem ser entendidas em articulação com o seu amplo projeto de pesquisa sobre a causalidade (Piaget e Garcia, 1971).

Além disso, em Blackburn e Papalia (1992), encontra-se valiosas sugestões sobre a direção de pesquisas sobre a cognição adulta utilizando o modelo piagetiano. Eles depreendem que podem ser utilizadas as próprias tarefas piagetianas, que foram desenvolvidas para o uso com crianças e com adolescentes, em estudos com adultos. Nesse sentido, fazem uma importante ressalva, em forma de questão: as respostas que parecem infantis significam a mesma coisa para a pessoa adulta, como o que ocorre para a criança? Eles trazem um interessante exemplo: embora alguns adultos possam justificar respostas não conservativas oferecendo explicações pré-lógicas (por exemplo, no estudo da conservação da quantidade com a transformação de plasticina: “que a salsicha pesa mais porque ela é mais longa”), outros falham em tais tarefas porque eles podem mal interpretar ou complicar as demandas da tarefa, ou porque eles estão respondendo às tarefas de um modo orientado pela realidade. Assim supõem que esse tipo de resposta poderia refletir uma

complexidade no pensamento e uma orientação baseada na realidade, mais que uma inabilidade para a conservação. Dessa forma, esses autores sugerem que a pesquisa futura nessa área deve atender ao desenvolvimento e emprego de um método clínico flexível, como parte de um procedimento a determinar os significados precisos dentro de respostas particulares, assim como no método clínico original de Piaget (Delval, 2002).

Por fim, registra-se uma recente pesquisa de Bovet (2000), sobre o fenômeno de flutuação, com sujeitos adultos. A autora sugere que essa pesquisa pode ser instrutiva na medida em que os resultados obtidos em outras investigações, com crianças e adolescentes, sobre as mesmas noções e tarefas apresentam poucas respostas corretas. Nesse sentido, pode-se fazer questões comparativas como: "esses percursos [do pensamento do adulto] são diferentes dos que caracterizam o pensamento da criança ou do adolescente? De que maneira poderíamos definir sua especificidade em relação ao pensamento adulto?" (p. 288). Em resposta a esses questionamentos, assim podem ser sintetizadas as conclusões a que chega a pesquisadora:

1) Os sujeitos adultos que participaram dessa experiência são relativamente cultos. Entretanto, em relação ao fenômeno da flutuação, muitos deles tiveram idéias imprecisas, oscilantes e mal-organizadas. Pode-se dizer que seus conhecimentos escolares, com muita frequência, não são operacionais, aparecendo, em alguns casos, apenas na forma de frases isoladas. Os sujeitos se mostram incapazes de organizar suas reflexões pessoais para tal contexto e de criar um modelo explicativo satisfatório para eles, mesmo que se esforçassem para construir algum.

2) Todos os sujeitos entrevistados reconheceram os três principais agentes (o líquido, o objeto mergulhado e a gravidade) que intervêm no fenômeno da flutuação e, dentro dos parâmetros que compõem o objeto, tratam de diferenciar aqueles que o fazem flutuar e os que, pelo contrário, o impedem. Entretanto, no que diz respeito à gravidade, os sujeitos consideraram que ela atua fundamentalmente sobre o objeto, "nenhum deles faz a mínima alusão ao fato de que a gravidade atua também sobre a água, da mesma maneira que atua sobre os sólidos" (p. 322). Assim, a densidade da água não figura nos modelos explicativos, é a densidade do objeto ou o peso deste que predomina.

3) Há nítidas diferenças entre crianças e adultos durante a tarefa: "A forma como os adultos reflexionam e as perguntas que formulam sobre o problema da flutuação sugerem que a construção do conhecimento passa por várias etapas; em princípio, uma das mais importantes é a de comparar uma explicação – no sentido literal e figurado do termo – interrogar o objeto e dialogar mentalmente com ele. Os sujeitos desta investigação mencionam diferentes parâmetros, detêm-se um momento em cada um, vão mais além, sem decidir de forma definitiva se o fator em jogo é ou não pertinente. Não é habitual que um dos parâmetros seja eliminado definitivamente; costuma-se deixá-lo momentaneamente de lado, para examiná-lo melhor posteriormente" (p. 322).

4) Entretanto, existem semelhanças entre o pensamento adulto e o da criança: “Os adultos têm dificuldade em estabelecer semelhanças entre as diferentes situações, coisa que os incitaria a buscar um modelo explicativo de conjunto. Como ocorre com as crianças (...). Assim, raciocinam como se um mesmo fenômeno pudesse ser explicado por fatores diferentes segundo os contextos ou como se a flutuação não fosse um fenômeno único mas que agrupasse muitos outros” (p. 323).

Nesse sentido, buscou-se replicar a pesquisa desenvolvida por Piaget e Uzan (s/d) sobre as mudanças de estado do éter, parcialmente publicada em Piaget e Garcia (1971), porém com o diferencial de incluir sujeitos adultos na investigação. A seguir, são descritos os procedimentos metodológicos empregados.

Metodologia

A pesquisa foi conduzida conforme o método clínico piagetiano por um experimentador, que realizou as entrevistas individuais, assistido ou não de um colaborador, que tomou notas das ações do sujeito. As entrevistas foram registradas em áudio, o tempo médio de duração das entrevistas foi de 40 minutos. Posteriormente, as entrevistas foram transcritas em protocolos e analisadas minuciosamente na fase de escrutínio.

Participaram dessa pesquisa 34 sujeitos. Foram entrevistados 16 adolescentes, com idades entre 11 e 15 anos, e 18 adultos, com diferentes idades acima dos 18 anos e estudantes universitários de quaisquer cursos que não sejam de ciências naturais ou matemática. A pesquisa foi realizada em Genebra, com sujeitos brasileiros, portugueses e espanhóis. Os sujeitos participaram voluntariamente desta pesquisa e se solicitou que fornecessem um consentimento informado.

A tarefa desse estudo envolveu a réplica de uma experiência desenvolvida por Piaget sobre a evaporação e a liquefação de éter em sistema fechado (Piaget e Uzan, s/d). Mostra-se um equipamento composto por dois balões de vidro (50 mL) ligados por um tubo de vidro com uma seção horizontal de cerca de 30 cm e duas seções verticais de cerca de 3 cm. Um balão (a) está com um pouco de líquido incolor (éter, cerca de 5 mL) e o outro balão (b) está vazio. Também são mostrados dois potes: (A) contendo água muito aquecida e (B) água fria. Pergunta-se o que acontecerá quando o equipamento for mergulhado nos potes, colocando o balão com o líquido no pote de água aquecida e o balão vazio no pote de água fria (o éter evapora a uma baixa temperatura e uma vez em estado gasoso não é visível). Solicita-se a justificação da resposta apresentada. O experimentador mergulha o equipamento nos potes, conforme anunciara, e solicita ao sujeito observar e descrever o que ocorrerá. São feitas perguntas sobre as descrições e justificações dadas pelo sujeito. Posteriormente, pergunta-se ao sujeito pela reversibilidade do processo, ou seja, o que acontecerá quando se colocar 'b' em 'A' e 'a' em 'B'. Fazem-se questões sobre a explicação da mudança de estado do éter apoiadas por representações gráficas. Para os sujeitos

adolescentes são mostrados três esquemas, representados nas figuras 1, 2 e 3:

1) transporte contínuo, o éter não muda de estado e, de alguma forma, é arrastado para o outro balão em sua forma líquida;

2) transporte descontínuo, o éter muda de estado e passa para o outro balão, mas a mudança de estado é descrita através da dilatação das partes, partículas ou corpúsculos que compõem as substâncias líquidas e gasosas, onde as substâncias gasosas possuem partículas maiores, ou mais dilatadas, que as substâncias líquidas;

3) transporte descontínuo, o éter muda de estado, passa para o outro balão e a mudança de estado é descrita através da organização das partículas ou corpúsculos que compõem a matéria, sendo que nas substâncias gasosas esses corpúsculos estão mais distanciados que nas substâncias líquidas.

Para os sujeitos adultos, solicita-se que eles façam um desenho que possa representar o que eles observaram no decorrer dos experimentos⁴.

Por fim, solicita-se ao sujeitos que, caso eles notem alguma semelhança ou diferença significativa entre as partes da tarefa, façam alguma comparação elas.

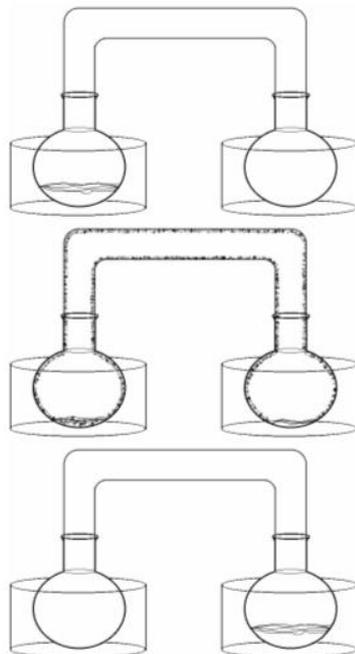


Figura 1.– Desenhos que representam o modelo de transporte contínuo da matéria de um balão ao outro.

⁴A estratégia de utilizar as representações gráficas não foi tão útil como se imaginava. Por exemplo, em um estudo piloto os sujeitos adolescentes fizeram representações muito superficiais, que inviabilizariam uma análise mais aprofundada de tais representações. Dessa forma, optou-se por mostrar um conjunto de representações realizadas pelos sujeitos adultos, que foram entrevistados anteriormente.

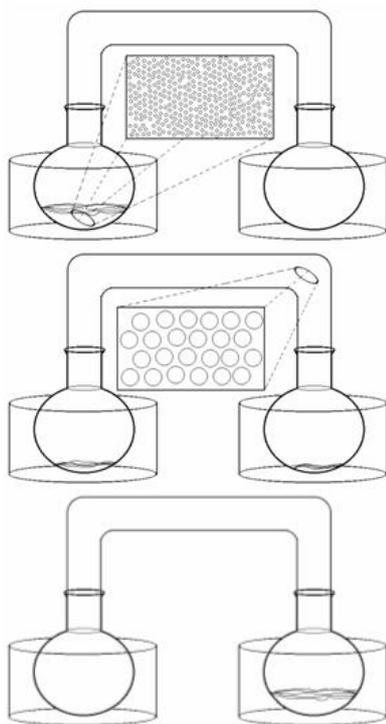


Figura 2.- Desenhos que representam o modelo de transporte descontínuo da matéria de um balão ao outro através da dilatação dos corpúsculos.

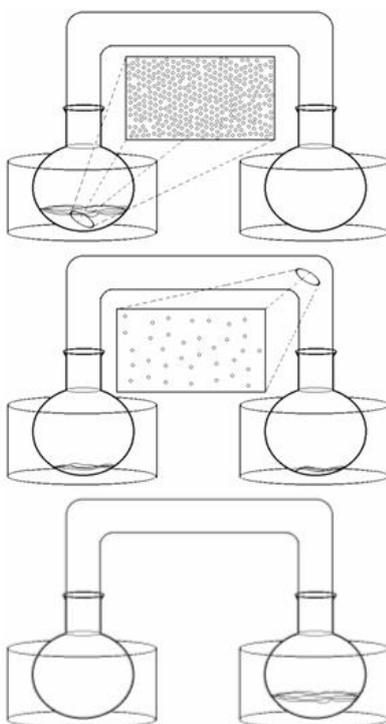


Figura 3.- Desenhos que representam o modelo de transporte descontínuo da matéria de um balão ao outro através da separação dos corpúsculos.

Conforme é sabido, as mudanças de estado da matéria envolvem a conservação da substância. Algumas constatações sobre as mudanças de estado da matéria estão ao alcance da generalização empírica e envolvem operações que são aplicadas ao objeto (Piaget e Garcia, 1971), estabelecendo vínculos de legalidade em relação aos fenômenos observados, como por exemplo:

- Todos os líquidos, quando aquecidos a uma certa temperatura, evaporam.

- Todos os líquidos, quando arrefecidos a uma certa temperatura, solidificam.

A explicação causal para todas essas relações de legalidade envolve a utilização de operações atribuídas pelo sujeito ao objeto (Piaget e Garcia, 1971). Essas operações podem ser agrupadas ou subsumidas em um modelo causal que seja utilizado como um esboço explicativo para os vínculos de legalidade dos fenômenos observados. Desse modelo podem fazer parte, por exemplo, os esquemas de compressão/descompressão (Piaget e Inhelder, 1971) ou de cerrar/descerrar (Piaget e Garcia, 1971), bem como a noção de atomismo. Portanto, a explicação causal para as relações de legalidade envolve, em seu nível mais elevado, a atribuição de modelos corpusculares às substâncias e às mudanças de estado que elas sofrem.

Portanto, baseados nos resultados de pesquisas anteriores (Bovet, 2000; Piaget e Garcia, 1971; Piaget e Uzan, s/d; Valanides, 2002a e 2002b), podemos estabelecer algumas hipóteses para o presente estudo, que são:

1. No grupo de sujeitos adolescentes serão encontrados diferentes níveis de conservação da substância durante as mudanças de estado da matéria.

2. No grupo de sujeitos adultos não serão encontrados diferentes níveis de conservação da substância durante as mudanças de estado da matéria.

3. Os sujeitos dos níveis mais avançados apresentarão as relações de legalidade que estão ao alcance da generalização empírica.

4. Os sujeitos dos níveis mais avançados explicarão as relações de legalidade através de modelos corpusculares com diferentes graus de entendimento.

Resultados e discussões

No experimento realizado por Piaget e Uzan (s/d), os excertos das entrevistas clínicas foram apresentados conforme os níveis de explicação manifestos pelos sujeitos, de acordo com a hipótese estruturalista subjacente à epistemologia genética piagetiana. Os níveis, portanto, supõe uma estruturação. Neste trabalho, buscou-se fazer uma categorização dos excertos que envolvessem alguma hierarquização (por exemplo, conforme apresentada no § 16 da Introdução deste artigo), mas sem buscar alguma estruturação subjacente a tais categorias, pois nosso trabalho não tem um enfoque genético, uma vez que não foi realizado com crianças. A Tabela 1 apresenta a

distribuição das categorias em adultos e adolescentes para as mudanças de estado analisadas.

Categorias	Adolescentes	Adultos
Categoria I	0	0
Categoria II	0	1
Categoria III	3	0
Categoria IV	10	3
Categoria V	0	3
Categoria VI	3	11

Tabela 1.– Distribuição das categorias em adolescentes e adultos para as mudanças de estado do éter.

A seguir apresentamos alguns excertos das entrevistas clínicas com o intuito de descrever as diferentes concepções de adolescentes e de adultos sobre as mudanças de estado do éter.

Categoria I

Os sujeitos da categoria I (que pode ser interpretado como o nível IA na pesquisa de Piaget e Uzan) não pensam em nenhuma mudança de estado (evaporação) e ainda se recusam em admitir uma passagem de matéria de 'a' para 'b', pois eles não vêem nada no tubo. Eles invocam, então, a existência de buracos no vidro que conduziriam a água quente de 'a' para 'A' e da água fria de 'B' para 'b'.

Nesta pesquisa não foram encontrados sujeitos que manifestassem um pensamento que pudesse ser assim categorizado.

Categoria II

As reações dos sujeitos dessa categoria (nível IB) são as mesmas no início, mas aceitam a ausência de buracos. O sujeito admite a passagem do líquido, mas ainda sem mudança de estado, de A para B, sob uma forma invisível ou incompreensível.

SOC (36)⁵: A sensação é que eu tenho que ele está subindo... E a queimadura da água, a fumaça tá passando pro... [O sujeito indica o balão b]. E: A fumaça tá passando por onde? SOC: Pelo tubo. E a água, também, subiu um pouquinho, até aqui. E: Sobe como água mesmo? SOC: É. Não, não. A água não vai subir. É a impressão que tá dando, mas não tá subindo. {...}⁶ E: [O experimentador levanta o equipamento]. SOC: Uau! E: Esse líquido que tá surgindo nesse outro balão, que tá na água fria, tá vindo da onde? SOC: Do calor. O suor foi esquentando e tá... E: Como é que ele tá aparecendo aqui? SOC: Acho que ele

⁵ Neste artigo será seguida a seguinte convenção: haverá uma abreviatura de três letras para o nome dos sujeitos e a idade deles estará entre parêntesis, indicando anos e meses, separados por ponto e vírgula. As questões realizadas pelo entrevistador serão antecedidas da seguinte referência "E:".

⁶ Neste artigo, as chaves {...} indicam uma passagem de tempo no decorrer da entrevista.

deve estar montando. E: E ele passa de que forma? SOC: Por calor. E: Se tu tivesses que explicar essa passagem para tua filha, como é que tu poderias explicá-la? SOC: Agora eu não sei como eu poderia explicar para ela...{...} SOC: Nessa água gelada... Bom, aqui [A], a água quente. Tu botaste a água gelada. Deu um choque, a água montou, o suor montou. Desceu aqui [b]... É eu acho que seria o líquido daqui [a], que tu colocaste a água a aquecer e taria passando para o outro lado. E: E o líquido que surge aqui [b] é igual, é o mesmo líquido? SOC: É, seria o mesmo líquido. {...} E: [Pergunta sobre a reversibilidade]. SOC: Nada. Não vai acontecer o contrário. E: Não vai voltar? SOC: Para mim não vai voltar, não vai retornar. E: Porque tu achas que não vai retornar? SOC: Porque..., aqui a água [b] tava em contato com a água gelada [B]. Aqui ela [a] estava em estado natural, antes, e ela entra em contato com a água quente [A]. Aqui ele tá gelado, vai entrar em contato com a água quente, por isso. Se ela tivesse em estado natural e entrasse em contato com a água quente, talvez acontecesse o que aconteceu. E: Então aqui [b' em A], não vai acontecer o que tu chamaste de choque térmico para fazer essa passagem? SOC: Não, eu acho que não. Vai ter o choque térmico, mas não vai ter a passagem.

Categoria III

Nessa categoria (nível IIA), os sujeitos admitem, imediatamente, que o líquido passou de A para B, pois diminui em quantidade em A e aumenta em B, o que pode ser constatado pelo nível do líquido. Eles admitem, além do mais, a conservação da quantidade de matéria. Mas não intervêm, ainda, nenhuma mudança de estado ou a idéia de evaporação.

E: O que tu nota acontecendo? MIC (11): A água aqui [tubo] a passar. E: E essa água que tá passando, ela tá passando como? MIC: Não sei, pelo tubo aqui. E: Porque ela tá passando? MIC: Para encher o outro. E: E porque ela tem que encher o outro? MIC: Uhm... Não sei. {...} E: O que são essas bolhinhas que surgem ali no líquido [a]? MIC: Água quente. E: E o que a água quente faz? MIC: Vai pra lá, vai queimar. E: E queimando ela o que acontece? MIC: Bah... Queima e vai. E: O que tu nota nesse balão [b] do lado de cá? MIC: Tá mais cheio que antes. E: Esse líquido que tem no balão do lado de cá [b], é o mesmo líquido que tem no outro balão [a]? MIC: Não. E: Como é que aparece esse líquido que tem no balão do lado de cá [b]? MIC: Ah! Hã... Não sei. E: Tu acha que esse líquido [b] não é o mesmo desse daqui [a]? MIC: Não porque esse aqui quando sai da torneira, a torneira é água fria, quando está esquentado na chaleira, é água quente. E: E o líquido que tem dentro desse balão [b], é o mesmo líquido que tem dentro desse balão [a]? MIC: Não. E: Porque eles são diferentes? MIC: Bah... Um é água fria e o outro é água quente. {...} E: O que aconteceu com esse líquido aqui [a'] que ele sumiu? MIC: Desapareceu. E: Deixou de existir? MIC: Pode ser assim, desapareceu aqui [a'] e veio pra aqui [b'].

Categoria IV

Em um conjunto de casos intermediários, também encontrados por Piaget e Uzan (s/d), entre as categorias III (nível IIA) e V (nível IIB), a noção de evaporação é invocada, mas sob formas ambíguas, sem transformações completas nem conservação da quantidade.

JOA (11): Tá passar água por vapor. E: E no balão [a] tu nota alguma coisa? JOA: Que aí a água tá a desaparecer. E: Tá desaparecendo e... Deixando de

existir? JOA: *Sim*. E: E como é que desaparece? JOA: *Com bolhinhas*. E: E o que acontece com essas bolhinhas? JOA: *Evaporam*. E: E depois que evaporam o que acontecem? JOA: *Sobem*. E: Porque sobem? JOA: *Não sei...* E: Se tu fosses ter que explicar essa evaporação para um amigo teu, como é que tu poderias fazer isso? JOA: *Que a água quente, evapora. E a água fria tira o vapor*. E: Porque acontece isso? JOA: *Porque o frio destrói o quente*. {...} E: Esse líquido que tem do lado de cá, é o mesmo líquido do lado de lá? JOA: *Não*. E: Tu achas que eles são diferentes de que forma? JOA: *Frio e quente*.

FRE (12,6): *Está a ferver*. E: E fervendo, acontece o que? FRE: *Vapor*. E: Qual a diferença entre o vapor e o líquido? FRE: *Não sei*. E: Se tu olhasses esse líquido no microscópio, o que tu conseguirias enxergar? FRE: *Hã... Não vou ver nada*. E: Olhando o líquido no microscópio e o vapor no microscópio, a gente consegue ver alguma coisa diferente? FRE: *Sim*. E: Qual é a diferença? FRE: *Hã... Tem moléculas no líquido, mas não tem no vapor*. E: Não há moléculas no vapor? FRE: *Eu não sei, mas penso que não*. E: No vapor, o que faz parte do vapor, então? FRE: *Hã... Me pegasse, eu não sei*. {...} E: E é o mesmo líquido que tem nos dois balões? FRE: *É o vapor que é... É como a chuva. Transportou a água pro outro lado*. E: E porque o vapor vem pro lado de cá [b]? FRE: *Porque só tem esse... Tá fechado. Só tem esse caminho pra ele ir*. {...} E: Quando eu aqueço o líquido que tá no balão, o que acontece com as moléculas que fazem parte dele? FRE: *Vão evaporar*. E: As moléculas vão evaporar? FRE: *Não sei*. E: E elas evaporando, o que acontece com elas? FRE: *Uhm...E: E do lado de cá [b], o que acontece com as moléculas? FRE: Formam-se. Elas se formam, de novo*.

ALE (12,8): *O líquido ferve, vai se vaporizando e vai passando pro outro lado*. E: Porque ele se vaporiza? ALE: *Porque... o calor, quanto mais calor, mais depressa ele se vaporiza*. E: E porque ele aparece do lado de cá? ALE: *Porque como ele vai se vaporizando, ele não pode ir pra cá [a] e vem pra cá [b]*. E: Porque ele vem pro lado de cá? ALE: *Porque... Por exemplo, o [inaudível] sobe...* E: Perdão, o que? ALE: *Quando o ar sobe. Por exemplo, quando há no solo um bocado de água... Hã... A água vai se vaporizando e vai pra cima*. E: Porque vai pra cima? ALE: *Vai ao sentido do sol*. E: Porque vai ao sentido do sol? ALE: *Não sei*.

[O experimentador levanta o equipamento]. MAR (25): *Isso aí...* E: Como é que vai acontecendo esse aparecimento do líquido, do outro lado, ali [b]? MAR: *Bom, eu acho que é por causa do calor, né. Da água em contato com o vidro e, isso, deve acontecer um processo, aí, que vai..., vai empurrando, né. E a água fria, eu acredito que, também, ela...* E: Ela puxa o líquido? MAR: *Não [risos], não sei, ela deve ter alguma influência, eu penso que sim*. E: E qual é a influência desse calor e desse frio nisso que tá acontecendo aí? MAR: *Não sei te dizer, não*. {...} E: O líquido que tá surgindo nesse balão [b], é o mesmo líquido que tá vindo do outro balão [a]? MAR: *Deixa eu ver aqui... Ele acabou completamente? Uhm... Eu acho que ele passou por uma transformação, aí, eu acredito que sim. E, não sei, pode ser o mesmo? Mas ele passou por uma transformação, né*. E: Que transformação seria essa que tu acha que ele tenha passado? MAR: *Eu acho que..., essa temperatura, né, a temperatura, o aquecimento e... Não sei, isso aqui influenciou para que... Não sei se ele é a mesma coisa ou transformou, mas eu penso que...*

GIS (46): *Tá subindo líquido! Não tá subindo vapor...* E: Como é que tá subindo esse líquido? GIS: *Pelo tubo todo... Por dentro do tubo, né*. {...} E: Como é que o ar empurra o líquido para as beiradas? GIS: *Pelo calor que aquece...E: O calor vai aquecendo... o líquido... GIS: E emite essa força, não? E: Que força? GIS: Que empurra o ar*. E: O ar que tava aonde? GIS: *Dentro da bola*. E: E como acontece

esse empurrão? GIS: *Pelo calor.* E: Calor que vem da onde? GIS: *Da água quente.* {...} E: Qual é um outro líquido que tu acha que poderia fazer isso? GIS: *Coisas de derivados de álcool, que parecem álcool. Éter, talvez. Não sei.* E: E tu achas se fosse álcool ou éter aqui, como é que aconteceria? GIS: *Eu acho que aconteceria a mesma coisa.* E: E como é que seria isso? GIS: *Sem fumaça, sem, sem... É, nebulosa... Passaria igual a esse. Inalterado.* E: E essa passagem vai ser sempre como líquido? GIS: *Sim.* E: É o líquido que sai desse balão da água quente pro balão da água fria? GIS: *Uh-hum. Aquecidos como líquido. Empurrados pela força do calor ou pelo ar que tá lá dentro, não sei. E ele passa como líquido e vai lá. Mas acho que a água, ela é, penso que ela iria como vapor.*

Essa ambigüidade pode ser verificada através das escolhas que os sujeitos fazem dos esquemas explicativos que lhe são mostrados. Os esquemas mostrados envolvem três modelos explicativos para o transporte do líquido de um balão para o outro. Os desenhos que representam esses esquemas explicativos estão representados nas figuras 1, 2 e 3, que foram apresentados na secção sobre a metodologia.

SAN (11;8): *Hã... Eu acho que este [1] porque estes [2] há pessoas que não podem compreender o que está a dizer.* E: As crianças que me disseram, era que o líquido é composto por um monte de pequenas bolinhas, pequenas gotinhas, pequenas partículas, né, e que daí a gente só consegue ver elas se a gente olha no microscópio. E aqui é quando a gente vê o vapor. Uma criança me disse, que no vapor, essas bolhinhas que fazem parte do líquido, quando estão no vapor, as bolhinhas, as partículas ficam maiores, porque a gente aquece elas, e daí, como a gente aquece elas, elas ocupam mais espaço e ocupando mais espaço elas passam pro outro balão. Uma outra me disse é que o que acontece, é que a diferença entre o líquido e o vapor, é que elas continuam do mesmo tamanho, mas elas ficam umas mais espaçadas das outras, umas mais longe das outras e por isso que elas ocupam mais espaço do tubo e vem pro outro balão. E agora que eu te expliquei isso, tu continuarias escolhendo esse [1] ou trocaria um pouco? SAN: *Eu diria esse [3].* E: Porque tu escolherias esse? SAN: *Porque, aqui, penso que é justo que fica mais..., elas espalham-se.* E: E porque tu não escolherias essa [2]? SAN: *Porque as bolas dessa são muito grandes.* E: E tu achas que não poderiam ficar tão grandes? SAN: *Não.*

FRE (12;6): *Esse [2].* E: Porque tu escolherias esse? FRE: *Não poderia ser mais esse [1], porque não tava como antes.* E: Aqui as moléculas, né, elas se dilatam, porque com o calor elas ficam maiores. E aqui, elas mantêm o mesmo tamanho, mas elas ficam afastadas umas das outras. Agora, qual dos dois descreveria melhor o que acontece? FRE: *Agora, pensando, seria melhor... Poderia ser... Eu penso que seria essa [3], porque estão mais longe.*

ALE (12;8): *Este [2].* E: Porque tu escolherias este? ALE: *Porque... Porque, aqui, temos a mesma coisa que aqui. Este não tem [1], este sai. Depois se formos, embaixo, onde esteja, se vermos no microscópico, vê-se bolhinhas pequenas e aqui vê-se mais elas.* {...} E: Se do lado de cá [a], as bolas são pequenas e no vapor as bolas são grandes, o que tu acha que aconteceria, quando chegasse na água fria, com essas bolas? ALE: *Vão se... Vão explodir.* E: Vão explodir e acontece o que com elas? ALE: *Saem ar e água.*

DIE (13;5): *Escolheria este aqui [2].* E: Porque? DIE: *Porque este mostra mais o vapor... O vapor, tá um bocadinho de líquido, e mostra aqui e mostra bem o*

vapor que vai passar. E: E quando esse vapor, com essas bolas, com essas partículas grandes, chegarem do lado de cá, onde a água tá fria, o que aconteceria? DIE: Vai abafar e vai começar a vir água. E: E o que vai acontecer com essas partículas grandes? DIE: Vai vir pinguinhos da água e vai começar a encher o vidro.

Categoria V

Nesta categoria (nível IIB), ao contrário, a transformação é compreendida e nos dois sentidos, líquido-vapor e no inverso, com conservação da quantidade de matéria.

CAR (18): Ah! Ou seja, o líquido vai passando de um lado para o outro. E: Ele passa como líquido, ainda? CAR: Bom, pelo menos, por aqui [a metade do tubo], pelo menos antes, era líquido... Não sei, me parece que até aqui é fumaça, até o meio [de 'a' ao meio do tubo]. E: E por que aqui [na metade do tubo] se faz líquido de novo? CAR: Porque já não faz tanto calor... E: E como acontece a formação da fumaça que tu fala? CAR: Como? E: Como se forma? CAR: Pelo calor, pois se põe a ferver e uma parte se vai condensando no ar... E: E como acontece esse processo que tu fala de condensação? CAR: Hã, vamos ver... Como faz muito calor, o líquido começa ferver e uma parte do líquido vai pro ar, com o calor. E: Vai como líquido? CAR: Pois não, como... Como se diz? Eu dizia fumaça, mas é outra coisa... De gás, não? E: De gás? CAR: Sim. Porque líquido, ele só, não pode subir.

PAL (18): Uhm... A água quente vai aquecer esta água [a] e vai formar vapor, vai passar por aí, o vapor vai circular pelo tubo, não sei. {...} E: Tu me falavas que poderia ser uma formação de vapor... Tu poderia me descrever como acontece essa formação? PAL: A água desse balão [a] estaria fervendo e o vapor circularia, sobe e circula no tubo e aí... E: Porque o vapor sobe e circula pelo tubo? PAL: Porque o vapor é mais leve e sobe... [Risos]. Eu sou muito má em física e não sei... E: E o que faz o vapor ser mais leve? PAL: Se é mais leve, sobe. Porque é mais leve? E: É. PAL: Porque... Não sei. Olha, não há quase nada aí [a]. E: Porque o líquido aparece aqui [b]? PAL: Não entendo porque a água sobe ali. E: Tu percebes a água, ainda, no tubo? PAL: Não, agora não. E: E continua havendo a passagem? PAL: Parece que sim. Ou não? Ou separou? A circulação separou, ou não? Não sei. Haveria que ver se esta água, se este balão [a] se esvazia completamente... Isso que tem que ver, mas... {...} PAL: O calor se transmite à água do balão. Ou seja, a água do balão está muito quente, também. Começou a ferver, também. E: E depois que ferve? PAL: Depois que ferve... Passou a... Não entendo. E: Mas o líquido que há aqui [b] é o mesmo que há aqui [a]? PAL: Sim. Está completamente fechado isso. Essa água [b] não pode ser disso [B]. Ou seja, isso [o equipamento] está completamente independente disto [dos líquidos nos potes]. Ou seja, a água, o conteúdo dessa água [o líquido nos balões; éter] é independente do conteúdo dessa água [dos potes]. Há que buscar explicações... [Risos]. {...}. E: Tu dizias que poderia ser um vapor, mas tu não consegue perceber esse vapor? PAL: Estranho de ver o líquido, ao invés de vapor. Ou seja, não entendo o processo da água que passa pelo tubo. Agora acabou, não passa nada. Ou há água? Há água ou não?

Categoria VI

Enfim, nesta categoria (nível III) a mudança de estado é explicada por modelos corpusculares.

FAB (12,6): Tá formando vapor, tá em ebulição. É, uma bolhinhas... E: E como acontece essa formação de vapor? FAB: Por causa do calor, tá tão quente que a água se transforma em vapor, fica whop! [onomatopéia]. Depois ali faz punf! [onomatopéia]. E: E o que o calor faz para que aconteça essa formação de vapor? FAB: Eu não sei [risos]. E: E porque depois que se transforma em vapor ele vem pra cá? FAB: Ah, porque... [risos] Dã! Porque? Porque se transformou em vapor e veio pra aqui, porque está fria. E: E porque se transformando em vapor ele vem pra cá? FAB: Porque o vapor sobe. E: Porque ele sobe? FAB: Porque fica em gás. E: E o que acontece com esse gás? FAB: É... E: Porque esse gás vem pra cá? FAB: Porque, porque, subindo assim, ele passa por aqui e transforma-se em água e a água desce. {...} E: Porque esse líquido surge aqui [b], dentro desse balão? FAB: Porque esse balão tá frio. E: E o que acontece, estando frio? FAB: Transforma-se outra vez em água. {...} E: Se tu tivesses que explicar essa formação de vapor para um colega teu, como é que tu poderias explicar isso? FAB: A água aqui [a'] fica tão quente, que depois transforma-se em gás e depois ele vai subir e vai entrar no cano frio e, como tá frio, transforma-se outra vez em água, porque cristaliza-se, crã-crí [onomatopéia], fica líquida e depois desce. E: E se teu amigo não entendesse essa coisa que tu chamou de cristalização, como é que tu poderias dizer pra ele de outra forma? FAB: Cristalização? Quando as bactérias tão juntas... E: Bactérias, tu disse? FAB: Pois, as bactérias do gás. Juntam e são tantas que depois se transformam em água, em matéria, não sei. E: Porque elas se juntam? FAB: Porque ficam apertadas. E ficam frias, estão sem aquecer. E: E tu achas, então, que aqui quando tá aquecendo, em vez de elas se juntarem, elas se separam? FAB: Separam.

CAT (14): Ah! Passou alguma coisa então [risos]. Bem, então, tens um líquido que se evapora a uma temperatura inferior a 100 graus, que a uma temperatura X da água quente que tu tens aqui [A], eu não sei determinar qual e... é isso. E: Esse líquido que está surgindo nesse balão que está na água fria, ele está vindo da onde? CAT: Daqui [a]. E: Como está acontecendo essa passagem de um balão para o outro? CAT: Se evapora, depois ele fica a nível gasoso e passa por aqui [pelo tubo] como gás. E: E qual é a característica desse gás dentro do sistema? CAT: Ele vai dum, do espaço que tá mais quente para o espaço que está mais frio. E: E porque ele vai do espaço que está mais quente para o que está mais frio? CAT: Porque... No espaço que está mais quente, aumentar a temperatura, aumenta o volume, a dilatação do espaço, é isso. Então, o gás tem tendência a pegar todo o espaço que está a disposição dele. E a... Como o espaço... Ele vai transmitindo através do tubo até a outra bola. E: Como esse gás vai ocupando todo o espaço? CAT: As partículas vão se... evani..., ah, separando-se uma das outras. Com mais distância possível. E: E no balão que tá na água fria, o que acontece? CAT: Acontece que a água fria, resfriou o gás, que fica, de novo, a... Que deixa de ser gás e volta a forma líquida. E: E quando volta a forma líquida, o que acontece com essas... CAT: Diminui o espaço, o volume que ela ocupa. E: Porque diminui o volume que ela ocupa? CAT: Quando tu resfriás um gás, ele adota a forma líquida e a forma líquida ocupa menos espaço do que a forma gasosa. E: E porque ocupa menos espaço na forma líquida, em relação à forma gasosa? CAT: Porque as partículas num gás estão muito mais livres e móveis, podem separar e ocupar não importa qual espaço, qual volume. Enquanto que as

partículas num fluido, que estava em estado líquido, tem ligações, não sei, acho que são hidrogênicas, que não dão total liberdade.

RAQ (21): Começa a formar vapor no tubinho...{...}. E: E você consegue ver o vapor passando pelo tubo? RAQ: Não, agora não. E: E você esperava ver o vapor passar pelo tubo? RAQ: Esperava, [risos]. {...} E: Ele sobe como líquido, ele vai aparecendo como um líquido por todo o equipamento? RAQ: Não, ele vai subir como vapor. E depois aqui [b], isso condensa em água e depois cai como líquido. E: Como condensa nessa parte do equipamento [b]? RAQ: Como condensa? Uhm... Porque arrefece, esse líquido. Já não tá tão quente e arrefece, então vai condensar. Ah, tá aqui uma gotinha... [Nota uma gotinha escorrendo pelo balão b. Risos]. E: Tu podia me falar um pouco mais essa diferença entre o estado líquido e o estado gasoso, que você falou? RAQ: Claro. Porque... Neste vaso [A], a água tá quente, então o líquido que tá dentro da bola [a], vai aquecer-se também, então vai se transformar no estado gasoso. Isso faz com que as partículas subam, porque torna-se mais leve. E, depois, quando entra no tubo, vai voltar a arrefecer e a transformar-se, de novo, no estado líquido, e depois vai descer por tudo ali. E: E no estado líquido, como estão essas partículas de que tu falou? RAQ: No estado líquido, como elas estão? Estão juntas. {...} E: Teve uma pessoa que eu entrevistei que me disse que quando acontece o aquecimento, a evaporação, as partículas ficam maiores. E, depois, na condensação, as partículas ficam menores. E por isso daí que, no líquido, né, com as partículas menores, elas estão mais juntas e com elas maiores, elas ocupam mais espaço. O que tu acha do que a pessoa me falou? RAQ: Sim, elas ocupam mais espaço... Elas quando evaporam, espalham-se mais. Não é questão que elas ocupam mais espaço, o espaço é sempre o mesmo, mas elas espalham-se mais. Enquanto, depois, quando elas condensam, elas voltam aos lugares. O espaço que elas ocupam é sempre o mesmo. E: E o tamanho dessas partículas: com o aquecimento elas ficam maiores e com o resfriamento elas ficam menores? Ou tu acha que não? RAQ: Não, acho que não. Acho que elas apenas se dispersam mais. Quando ficam..., quando condensam, depois formam, essas partículas, todos juntas se formam um todo maior.

Entretanto, os esquemas corpusculares utilizados pelos sujeitos em suas explicações possuem uma diferença de natureza que não chegou a ser investigada por Piaget ou por seus colaboradores, mas que é bastante documentada pela área de Didática de Ciências, como pode ser visto, por exemplo, em Barker (2000) ou em Benlloch (1993).

Os esquemas corpusculares são diferentes em relação às compreensões que se tem da natureza dos corpúsculos e das transformações que eles poderiam sofrer. As figuras 2 e 3, por exemplo, representam uma dessas diferenças e a escolha por uma delas auxilia a identificação dos esquemas corpusculares utilizados pelos sujeitos, como por exemplo:

FAB (12,6): Este [3]. E: E porque tu achas isso? FAB: Porque as partículas são sempre as mesmas, quando estão muitos quentes elas partem para arrefecer. Depois, quando tá muito frio, juntam-se que é pra aquecer. E separadas, elas ocupam mais espaço e sobem.

Além disso, os sujeitos podem fazer suas próprias representações, onde é possível verificar as diferentes manifestações dos sujeitos sobre a agregação dos corpúsculos:

MAC (36): *O pote de água quente ajuda a fazer isso? Hã... Ufff... Bom, já a energia calorífica da água, né, que existe dentro do pote, ela consegue fazer com que as moléculas, moléculas da substância que se encontra dentro do balão, hã, se movam e se tornem mais leves dentro desse balão, assim que ela passa para o outro lado.* E: *Como é que se torna mais leve?* MAC: *Aí complica, porque... Se eu começo a... É que eu não tenho mais essa visão... Como é que se torna mais leve? Torna mais leve porque elas são aquecidas e porque... Justamente, elas devem...* *Aí já, eu não consigo mais dominar.* E: *Uh-hum. E desse lado de frio, do frio, do lado do copo gelado, o que acontece com essas moléculas?* MAC: *Essas moléculas, resfriadas (esfriadas ou resfriadas? Resfriadas, né), hã... É tem, acho que já acabou o processo... Não tô vendo mais nada desse lado... As moléculas resfriadas desse lado de cá, elas vão se encontrar, num... De novo, num clima, numa temperatura que é abaixo daquilo que é... Que faria com que elas se estendessem, crescessem, né, e... Retornando mais pequenininhas de novo, né, e se tornando mais pesadas, também, por essa questão.* E: *A temperatura tem uma influência no tamanho dessas moléculas?* MAC: *Acredito que sim. Acredito que elas...* E: *No aumento de temperatura, o que acontece com as moléculas?* MAC: *Normalmente, elas dilatam, né. Elas deveriam se dilatar e quando elas se esfriam elas se contractam.* E: *E no líquido, como estão essas moléculas?* MAC: *Como elas estão... organizadas? Elas se encontram organizadas no líquido... em conjunto, né. Em conjunto. E.. Eventualmente, justamente, com o calor, elas começam a pegar mais expansão, maior tamanho, aí, elas se evaporam, vão se transformar em líquido de novo, numa temperatura mais fria. Que é o efeito, do... Por exemplo, da chuva, né. Como é que se transformam, como é que as nuvens se transformam? Existe um efeito de... de calor, que faz com que as moléculas que se encontram no solo se evaporem, porque elas se tornam porque, talvez, elas se tornam maiores e... em gás, sobem e depois, resfriam, se tornem de novo líquido e... Podem até se tornar gelo, se for o caso, se elas se encontrarem em uma temperatura muito, muito fria, né.*

E: *Tem uma coisinha que eu não entendi. Antes tu tinhas falado, naquela parte anterior, que essas moléculas, esse átomo, no calor elas dilatariam, com a temperatura alta e na temperatura fria, elas retrairiam. E agora tu tá me falando na velocidade de agitação dessas partículas. Tá acontecendo as duas coisas? Ou uma coisa ou outra?* MAT (27): *Não, as duas.* E: *Acontecem as duas coisas?* MAT: *As duas coisas. O movimento é mais rápido e a molécula, em si, ela vai se dilatar. É os dois juntos, não é um...*

E: *No líquido..., qual a diferença entre as moléculas no líquido e no gás?* VOL (26): *Não tenho a mínima idéia... Talvez porque elas se destroem, né. Ao invés de ser H₂O, vai virando H, vai virando O, não sei o que...* E: *Um sujeito me disse que essas moléculas, elas aumentariam de tamanho com a temperatura, elas se dilatariam, e, por isso, elas ocupariam mais espaço...* VOL: *É bem provável. Eu só tenho assim uma lembrança, das minhas aulas de física...*

E: *É, se tu pudesses fazer um desenho que pudesse representar o que ocorreu.* NJI (24): *É um esquema, não é a realidade, né [risos].* E: *Porque tu achas que não é a realidade?* NJI: *Porque quando eu tenho a impressão que, quando tu fazes um esquema, é uma simplificação...* E: *Ah, sim. Um esquema, então, que ajudasse a explicar o... NJI: Aqui, está, então, já o líquido... Depois... Posso usar outro?* E: *Pode, pode usar quantos quiser.* NJI: *[Risos]. Então aqui vamos fazer... Assim.* E: *Esses tracinhos vermelhos que tu estás fazendo...* NJI: *São a força de atração.* E: *E essas setinhas que você está fazendo, são o que?* NJI: *Porque não*

vão todos de uma vez, né, por isso que fica líquido, né. É a mais rápido né, é a mais aquecida do quente, se desfaz da força de atração e... E: E aqui no balão [b]? NJI: Wait!

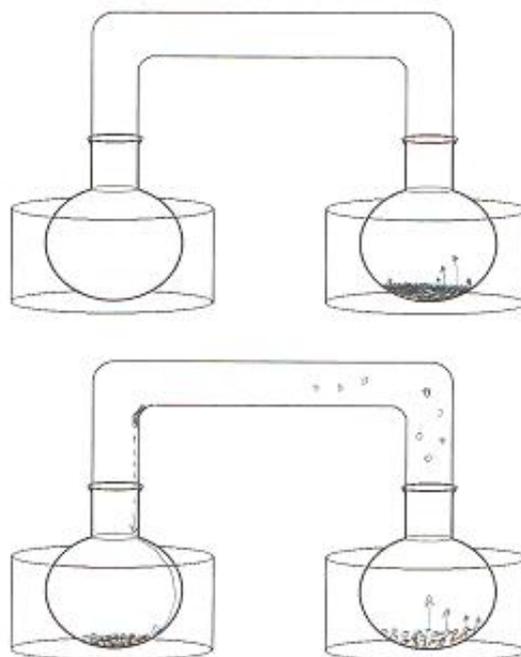


Figura 4.– Esquema de transformação física desenhado pelo sujeito NJI.

E: Qual a influência da temperatura nesse processo de evaporação? *ROB (36): Ele... A temperatura aumenta a agitação térmica das moléculas, o que provoca o escapamento dela o meio, né. E a transformação de estado do líquido para o vapor.* E: E quando transforma o estado, o que acontece com essas moléculas? *ROB: Elas, elas tendem a se dispersar mais, aumenta muito mais a capacidade de dispersão.* E: E no balão que tá na água fria, o que aconteceria com essas moléculas? *ROB: Como aqui ela tá chegando... Aqui, elas, em função da temperatura, ela tá perdendo energia cinética. Quer dizer, que de alguma maneira, o ambiente tá roubando um pouco de calor, o que diminui a agitação térmica, o quer dizer que as moléculas perdem energia cinética e se aglutinam, de novo, fazendo a mudança de estado, que é justamente o processo de condensação. A perda da energia cinética e a conseqüente condensação, que dizer, a passagem, de novo, para o estado líquido. {...}* E: Tu poderias me fazer num dos desenhos a representação dessas moléculas que tu falou que teriam dentro na matéria? *ROB (36): Aqui [na parte do líquido] e aqui [na parte da condensação]?* E: É, pode ser. *ROB: Não sei qual seria o gás, mas vamos supor que... Elas estariam num grau de desagregação... Vamos supor que seriam uma molécula com três átomos, né. Alguma coisa assim... Acho que bastaria isso aqui... Poderia fazer um desenho para representar o fim do processo, mas seria simplesmente o...*

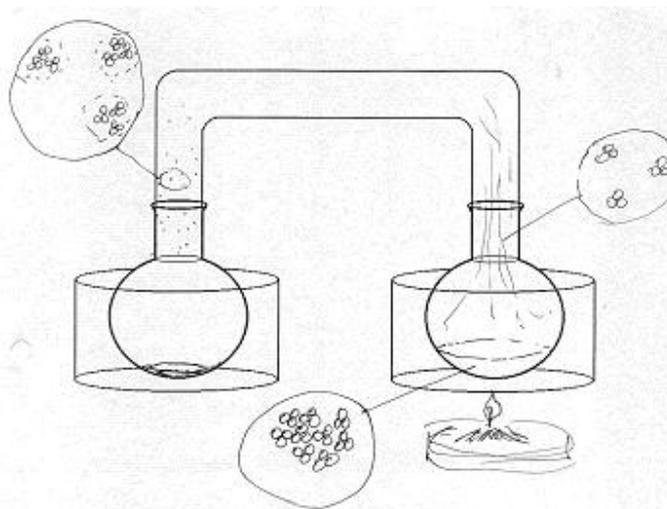


Figura 5.– Esquema de transformação física desenhado pelo sujeito ROB.

Conclusões

Na Introdução, mostramos a crítica que Valanides (2000a e 2000b) fez à validade e à universalidade da teoria de Piaget, principalmente, no que se refere utilização das operações formais na previsão, descrição e explicação de fenômenos de evaporação e de condensação. Nesse sentido, é preciso ressaltar que Piaget esteve preocupado com o estudo da construção das estruturas lógicas. Sua orientação, como se sabe, foi de cunho epistemológico e psicológico. Por outro lado, os educadores em ciências, e entre eles Valanides, estão, em geral, preocupados com estudos relacionados aos objetos, aos conceitos científicos ou conteúdos curriculares. A preocupação é, na maioria das vezes, didático-pedagógica. Por isso, os diferentes focos de pesquisa podem resultar em diferentes interpretações de uma mesma tarefa de investigação.

Nas conclusões da experiência com o destilador de Franklin, Piaget e Uzan (s/d) afirmaram que a utilização de esquemas corpusculares (que utilizam idéias de grão, de gotículas ou mesmo de outros elementos entre o nível macroscópico e o não perceptível), em ligação com a conservação de quantidade da matéria (a noção de massa), constitui o motivo da compreensão das mudanças de estado da matéria. Isso aconteceria à época do surgimento das operações formais, por volta do 11 ou 12 anos. Nesse caso, eles supunham, também, que poderia haver alguma influência do ensino escolar na utilização de idéias corpusculares para a explicação dos fenômenos de mudança de estado, mas essas idéias seriam assimiladas a esquemas espontâneos do sujeito, que atribuiriam a existência dos corpúsculos nos diferentes estados da matéria, sendo que esses estariam mais juntos ou cerrados no vapor, por exemplo.

Nossa investigação foi empreendida com sujeitos adolescentes e adultos. Sob o aspecto estrutural, por hipótese, os sujeitos entrevistados possuiriam as

estruturas dos pensamentos operatório concreto e operatório formal, necessárias para a solução do problema. Como visto, a maior parte dos adultos (11 entre 18) antecipou e descreveu as mudanças de estado, explicando-as com a utilização de modelos corpusculares. Entretanto, poucos foram os adolescentes que assim conceberam o transvasamento do líquido. A maior parte dos adolescentes (10 entre 16) utilizou alguma idéia de evaporação para justificar o transvasamento, mas sem idéias de conservação de quantidade e de reversibilidade do processo (condensação), por exemplo. Essas diferenças de sucesso, entre adolescentes e adultos, estariam de acordo com as retificações que Piaget (1972) fez em relação ao pensamento formal, admitindo que sua emergência e consolidação pode ser mais tardia, por volta dos 15 ou 20 anos.

No artigo em que propôs algumas revisões em relação ao pensamento formal, Piaget (1972), também, ressaltou a dependência do contexto da utilização do pensamento formal, mostrando que ele é menos generalizável a domínios diferenciados. No experimento que nós realizamos, replicando Piaget e Uzan (s/d), são muitas as características perceptíveis e de legalidade que intervêm na compreensão do transvasamento do líquido, entretanto é preciso ressaltar que o vapor do éter não possui características perceptíveis pela visão.

Assim, em relação à legalidade, esse experimento contém uma dificuldade que pode estar relacionada à generalização empírica da mudança de estado por evaporação. A evaporação e a condensação da água são os fenômenos empíricos mais próximos da experiência pessoal. Uma vez que a água é o protótipo de líquido e o vapor d'água o de estado gasoso, é difícil para o sujeito conceber um estado gasoso (ou de vapor) que não seja perceptível pelos sentidos visuais ou olfativos. Talvez isso possa justificar que alguns adultos (7 entre 18) tenham tido dificuldade em relacionar o transvasamento com as mudanças de estado da matéria (evaporação e condensação). Além do mais, notamos que os conhecimentos escolares dos adultos, muitas vezes, não foram operacionais, aparecendo algumas vezes em frases isoladas e de forma imprecisa e mal-organizada, por exemplo, na evaporação do líquido o volume aumentaria porque os próprios corpúsculos dilatariam.

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, do ponto de vista piagetiano, em relação aos problemas de causalidade, há nas evidências de nossa pesquisa 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), os problemas que necessitam deles não são resolvidos ou devidamente justificados.

Agradecimentos

O primeiro autor deste artigo gostaria de agradecer à CAPES pelas bolsas concedidas de doutorado e de estágio no exterior (doutorado sanduíche), realizado no *Archives Jean Piaget*, em Genebra, Suíça.

Referências bibliográficas

Barker, V. (2000). *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas*. Londres: Royal Society of Chemistry. [Documento digital em: <http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>].

Benlloch, M. (1993). *La génesis de las ideas sobre la composición de la materia*. Tese de doutorado. Barcelona: Departamento de psicología evolutiva y de la educación, Universidad de Barcelona.

Blackburn, J.A. e D.E. Papalia (1992). The study of adult cognition from a Piagetian perspective (pp. 141-160). Em: R. J. Sternberg e C.A. Berg, *Intellectual Development*. Crambridge: University Press.

Bovet, M. (2000). Explicações e mudanças em adultos. Em: M. Moreno, G. Sastre, M. Bovet e A. Leal, *Os modelos organizadores na construção do conhecimento* (pp. 287-323). Campinas: Unicamp; São Paulo: Moderna.

Cachapuz, A., Praia, J., Gil-Pérez, D., Carrascosa, J. e F. Martinez-Terrades (2001). A emergência da didática das ciências como campo específico do conhecimento. *Revista Portuguesa de Educação*, 14, 1, 155-195.

Delval, J. (2002). *Introdução à prática do método clínico: descobrindo o pensamento das crianças*. Porto Alegre: Artmed.

Eichler, M.L. (2001). Os modelos abstratos na apreensão da realidade química. *Educación Química*, 12 (3), 138-148.

Eichler, M.L. (2004). *Modelos causais de adolescentes e de adultos para as mudanças de estado e a transformação química da matéria*. Tese de doutorado. Porto Alegre: Programa de Pós-graduação em Psicologia do Desenvolvimento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [Documento digital em: <http://www.biblioteca.ufrgs.br/bibliotecadigital/>].

Ferreiro, E. (2001). On the links between equilibration, causality and "prise de conscience" in Piaget's Theory. *Human Development*, 44, 214-219.

Inhelder, B. (1936). Observations sur le principe de conservation dans la physique de l'enfant. *Cahier de Pédagogie Expérimentale et de Psychologie de l'Enfant*, 9, 3-16.

Inhelder, B. e J. Piaget (1976). *Da lógica da criança à lógica do adolescente*. São Paulo: Pioneira.

Lourenço, O. (1992). *Além de Piaget? Sim, mas devagar...* Lisboa: Nova Aliança.

Parrat-Dayan, S. (2000). A teoria de Piaget sobre a causalidade. Em: M. Moreno, G. Sastre, M. Bovet e A. Leal, *Conhecimento e mudança: os modelos organizadores na construção do conhecimento*. (pp. 23-34). Campinas: Unicamp; São Paulo: Moderna.

Piaget, J. (1961). *Les mécanismes perceptifs*. Paris: Presses Universitaires de France.

Piaget, J. (1972). Intellectual evolution from adolescent to adulthood. *Human Development*, Vol. 15, pp. 1-12.

Piaget, J. (1977a). *A tomada de consciência*. São Paulo: Melhoramentos, Edusp.

Piaget, J. (1977b). *O desenvolvimento do pensamento: equilíbrio das estruturas cognitivas*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

Piaget, J. (1978). *Fazer e compreender*. São Paulo: Melhoramentos, Edusp.

Piaget, J. (1986). *O possível e o necessário - Volume 1: evolução dos possíveis na criança*. Porto Alegre: Artes Médicas.

Piaget, J. (1987a). Introduction (Les conduits de l'adulte). Em: J. Piaget, P. Mounoud e J.-P. Bronckart; *Psychologie* (Encyclopédie de la Pléiade). Paris: Gallimard.

Piaget, J. (1987b). *O possível e o necessário - Volume 2: evolução dos necessários na criança*. Porto Alegre: Artes Médicas.

Piaget, J. (1995). *Abstração reflexionante: relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais*. Porto Alegre: Artes Médicas.

Piaget, J. e J.F. Chatillon (1975). Solubilité, miscibilité e flottaison. *Archives de Psychologie*, 43, 27-46.

Piaget, J. e R. Garcia (1971). *Les Explications Causales*. Paris: PUF.

Piaget, J. e R. Garcia (1987). *Psicogênese e história das ciências*. Lisboa: Dom Quixote.

Piaget, J. e B. Inhelder (1971). *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança*. Rio de Janeiro: Zahar.

Piaget, J. e B. Inhelder (1977). *A imagem mental na criança*. Porto: Livraria Civilização.

Piaget, J. e S. Uzan (s/d). *La bouillie de Franklin*. Manuscrito de artigo não publicado.

Schnetzler, R.P. (2002). A pesquisa em ensino de química no Brasil: conquistas e perspectivas. *Química Nova*, 25 (Supl. 1), 14-24.

Valanides, N. (2000a). Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (2), 249-262.

Valanides, N. (2000b). Primary student teachers' understanding of the process and effects of distillation. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (3), 355-364.