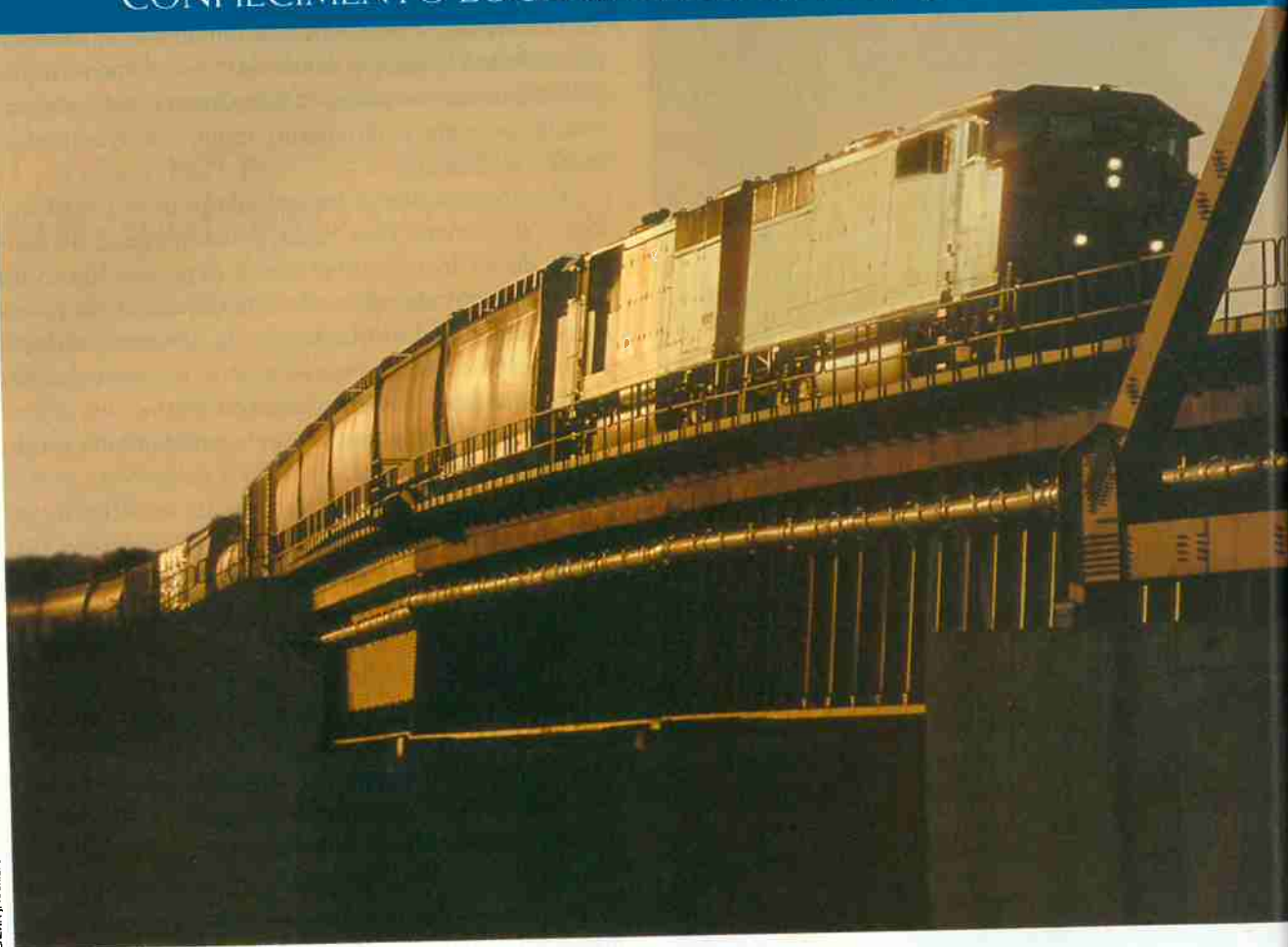


PIAGET ESTABELECE UMA DISTINÇÃO FUNDAMENTAL ENTRE O CONHECIMENTO FÍSICO, QUE É EXÓGENO, E O CONHECIMENTO LÓGICO-MATEMÁTICO, QUE É ENDÓGENO



CALVIN J. HAMILTON

POR ANNA MARIA PESSOA DE CARVALHO

Introduzir os alunos no universo das ciências é um dos grandes objetivos do ensino para a escola fundamental e média, perseguido por todos os professores – mas alcançá-lo desde as primeiras séries do ensino fundamental torna-se tarefa bastante difícil.

O que temos visto são alunos carregando uma coleção de fatos isolados, os quais não compreendem direito, com isso gerando grande desinteresse pelas ciências. Esses alunos não sentem as ciências como pertencendo ao seu mundo, mas sempre como algo que mais tarde aprenderão. Com esse ensino, não estamos introduzindo os alunos no universo das ciências; muito pelo contrário, estamos iniciando sua exclusão.

A ciência é mais do que uma coleção de conceitos ligados por uma teoria, como é tradicionalmente ensinado. A ciência

busca uma explicação para algum problema sobre a natureza, com os conceitos nascendo da necessidade de justificar um raciocínio. A coleção de fatos e teorias é o subproduto mais importante dessa excitante tarefa de procurar explicar com seu próprio raciocínio um fenômeno da natureza.

O ensino de ciências precisa ter essas mesmas características: ser excitante, ter um problema sobre a natureza para resolver, promover a discussão sobre os raciocínios e justificativas dos alunos para que eles possam interagir com – e não somente aceitar os – raciocínios científicos já elaborados.

MOVIMENTO DOS CORPOS. Uma das dificuldades do ensino reside no fato de os alunos não perceberem os problemas científicos como pertencentes a seu mundo – ao contrário do que ocorre quando a experiência recorre a exemplos cotidianos, como a água em ebulição ou os meios de transporte



Ensino de ciências e epistemologia genética

As aulas de ciências devem ser planejadas para que os estudantes ultrapassem a ação contemplativa e encaminhem-se para a reflexão e para a busca de explicações que, em última análise, são as metas de um trabalho científico. Buscamos então nos trabalhos de Piaget referenciais teóricos sobre como os indivíduos constroem os seus raciocínios e principalmente como constroem as explicações sobre a natureza.

Um dos grandes impactos que um professor sofre, logo nas primeiras leituras dos trabalhos de Piaget, diz respeito ao conteúdo de ciências utilizado por ele e sua equipe na obtenção dos dados empíricos, visando estudar os problemas que levaram à proposta de uma epistemologia genética. Por que um biólogo de formação utiliza, quase que exclusivamente, experimentos físicos para buscar seus

dados? O que os fenômenos físicos apresentam em relação aos fenômenos biológicos, aos químicos e, mesmo, às questões matemáticas que permitem um aprofundamento no raciocínio de crianças e adolescentes?

No livro *Da lógica da criança à lógica do adolescente*, Inhelder e Piaget utilizam quinze situações problemas, sobre as quais entrevistam crianças e adolescentes; dessas, treze são sobre fenômenos físicos. A mesma preponderância da utilização de fenômenos físicos pode ser encontrada nos livros *Fazer e compreender*, *A tomada de consciência* e *As explicações causais*.

A leitura desses livros faz parte da tomada de consciência sobre a importância dos fenômenos físicos para o desenvolvimento do pensamento das crianças: nesses fenômenos, o intervalo de tempo entre a ação da criança e a reação

do objeto é bastante pequeno, o que não acontece nos fenômenos biológicos, em que, entre a ação de a criança plantar um feijão e seu nascimento, há um intervalo de no mínimo uma semana. Com o pequeno intervalo de tempo (frações de segundos) das atividades com fenômenos físicos, a criança pode variar a sua ação e observar imediatamente as

escolar, e poder conhecer as dificuldades lógicas e conceituais por que as crianças e adolescentes passam ao se defrontar com esses fenômenos.

Temos consciência de que, ao fazer as análises para seus trabalhos, Piaget toma as entrevistas como sendo o desenvolvimento de um sujeito epistêmico; entretanto, é

NAS SALAS DE AULA, NÃO TEMOS UM SUJEITO EPISTÊMICO, MAS ALUNOS EM VÁRIAS FASES DE DESENVOLVIMENTO

diferentes reações do objeto, conseguindo mais facilmente levantar hipóteses sobre o fenômeno, testá-las e tentar explicar o porquê do acontecimento. Nos quatro livros citados, isso acontece em todas as entrevistas.

Uma outra influência diz respeito aos próprios conteúdos das entrevistas. É interessantíssimo, a um professor de ciências, ler uma série de entrevistas sobre assuntos como sombra ou inércia (do livro *Da lógica da criança à lógica do adolescente*), que são conteúdos pertencentes ao currículo

importante para nós, professores, tomar consciência de que crianças – semelhantes aos nossos alunos – possam pensar que a sombra é uma matéria e que pode depender da cor dos objetos, ou ainda que os adolescentes, quando vão estudar as leis da mecânica, encontrem muito mais dificuldade de entender a lei da inércia porque ela depende da lógica de negação.

Nas salas de aula, não temos um sujeito epistêmico; temos, em média, 30 alunos que se encontram em várias



VITRUVIUS, DE ARCHITECTURA, 1548

EURECA. O princípio de Arquimedes é um exemplo de como é possível explorar o cotidiano no ensino das ciências

FIGURA E SOMBRA. Dentre os exercícios propostos por Piaget, os conceitos de sombra e inércia suscitaram dificuldades lógicas e conceituais nas crianças

fases de desenvolvimento, com a obrigação de ensinar a todos simultaneamente. Para tal, ao planejarmos uma atividade de ensino, é conveniente conhecer os procedimentos mediante os quais os alunos vão se apropriando progressivamente dos conteúdos escolares para que possamos intervir eficazmente em sua aquisição.

Vamos dar um exemplo da utilização dos trabalhos de Piaget em sala de aula, tomando por base uma das atividades planejadas para as primeiras séries do ensino fundamental, cujo objetivo é levar os alunos a sistematizarem o conceito de sombra. São oferecidos aos alunos, reunidos em pequenos grupos, três tipos de figuras cortadas em papel cartão branco e preto. As figuras são círculos, quadrados e retângulos em dois tamanhos: pequenos e grandes. Propõe-se, então, o seguinte problema: como fazer para obter sombras iguais com todas as figuras? Esse não é um problema fácil; entretanto, é bastante envolvente e é resolvido por todos os alunos desde a primeira série do fundamental. Mas é importante ressaltar que sempre há um aluno, em algum grupo, que espera que as sombras sejam diferentes com as figuras brancas e com as pretas, assim como foi descrito nas experiências de Piaget. Poder manipulá-las – as brancas e as pretas –, testar suas hipóteses e verificar por si mesmo que as sombras são iguais é um aprendizado único, que só é possível quando se organiza uma atividade de ensino, levando-se em consideração os conhecimentos adquiridos nas pesquisas sobre a psicogênese.

Entretanto, a epistemologia genética estabelece uma distinção fundamental, mas também um entrelaçamento, entre o conhecimento físico, que é exógeno, e o conhecimento lógico-matemático, que é endógeno. Como mostra Piaget, não se trata de modo algum de dois tipos de conhecimento que se desenvolvem com independência mútua, nem tampouco de duas formas de conhecimento que tenham origens diferentes. Pelo contrário, a teoria piagetiana coloca uma origem comum, que é a ação do sujeito sobre o objeto, e um desenvolvimento paralelo, que surge de uma interação dialética entre os aportes do sujeito e os aportes do objeto. Dessa interação dialética – cuja natureza e cujos mecanismos de ação Piaget descreve com detalhes em seu livro escrito com Inhelder – surgiram essas duas classes de conhecimento: por um lado, o conhecimento da realidade, que só é acessível através da ação do sujeito sobre os objetos; e, por outro, as estruturas lógico-matemáticas, que surgem da coordenação das ações do



DARWIN GUEBBA/ISTOCK.XCING

sujeito, e que constituirão, por sua vez, os instrumentos indispensáveis para a assimilação da realidade.

Assim, além da construção do conhecimento físico mostrado pelo conteúdo das entrevistas feitas por Piaget, é preciso, ao professor de ciências, entender como esse vai se entrelaçando com a construção das estruturas lógico-matemáticas e, com isso, entender a teoria piagetiana de como o ser humano adquire conhecimento. Essa teoria possui uma coerência interna impressionante e é de uma aplicabilidade sem limites. Vamos abordar alguns poucos itens indispensáveis a alguém interessado em ensinar ciências.

Em seu livro *Equilibração das estruturas cognitivas*, Piaget mostra como, a partir de perturbações, são produzidas construções compensatórias que levam o sujeito a uma nova reequilibração: as condutas alfa, beta ou gama.

Segundo Piaget, "a reequilibração que se produz em seguida ao desequilíbrio assim provocado será obtida por uma conduta dita do tipo alfa nos dois casos seguin-

A AUTORA

ANNA MARIA PESSOA DE CARVALHO é professora titular do Departamento de Metodologia do Ensino e Educação Comparada e coordenadora do Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP.

tes: se se trata de uma pequena perturbação vizinha do ponto de equilíbrio, a compensação será obtida por uma simples modificação introduzida pelo sujeito em sentido inverso da perturbação em questão. A segunda reação de tipo alfa intervirá se a perturbação for mais forte, neste caso o sujeito a anulará simplesmente negligenciando-a ou afastando-a".

A conduta beta, segundo Piaget "consistirá, ao contrário da alfa, em integrar no sistema o elemento perturbador

dentro de seu sistema cognitivo. Isso implica coordenar as seguintes questões: um líquido entra em ebulição quando sua pressão de vapor iguala a pressão atmosférica, a temperatura em que isso ocorre é tanto mais baixa quanto menor for a pressão atmosférica, e a pressão atmosférica é menor em altitudes maiores.

Entretanto, o próprio Piaget nos ensina que "há progresso sistemático da primeira à terceira dessas condutas. Não significa que, no caso, se trate de três estágios gerais,

"EXPLICAR UM FENÔMENO NATURAL SE REDUZ A MOSTRAR CONEXÕES CAUSAIS COM FENÔMENOS CONHECIDOS"

surgido do exterior, consistindo então a compensação (...) em modificar o sistema por 'deslocamento de equilíbrio' até tornar assimilável o fato inesperado. Em suma, o que era perturbador torna-se variação dentro de uma estrutura reorganizada, graças às relações novas que unem o elemento incorporado àqueles que já estavam organizados, e são essas novidades de estrutura que assegurarão a compensação, pois no caso há mesmo uma forma de compensação".

A conduta gama consistirá, segundo Piaget, "em antecipar as variações possíveis, as quais perdem, na qualidade de previsíveis e dedutíveis, sua característica de perturbação e vêm inserir-se nas transformações virtuais do sistema. Mais precisamente, esse último caso é aquele em que, pelo fato da própria composição da estrutura em jogo, há antecipação de todas as suas transformações possíveis".

Esses conhecimentos ampliam o entendimento das respostas dos alunos às questões propostas pelos professores, permitindo uma interação professor/alunos mais rica e mais compreensível por ambas as partes.

Vamos exemplificar mostrando como vários alunos se comportam ao enfrentar o seguinte exercício de terminologia: medir a temperatura de ebulição da água em uma cidade situada acima do nível do mar. Sabendo que a água ferve a 100°C, ele terá uma conduta alfa se, ao obter um valor menor, se negar a reconhecer essa perturbação, atribuindo a anomalia, por exemplo, a um defeito do termômetro. Terá uma conduta beta quando alterar sua explicação levando em conta o fator perturbador: pode explicar atribuindo a temperatura menor ao fato de o vapor "estar carregando calor". Terá uma conduta gama quando possuir articuladamente todas as informações necessárias para considerar o fato perturbador como algo previsível

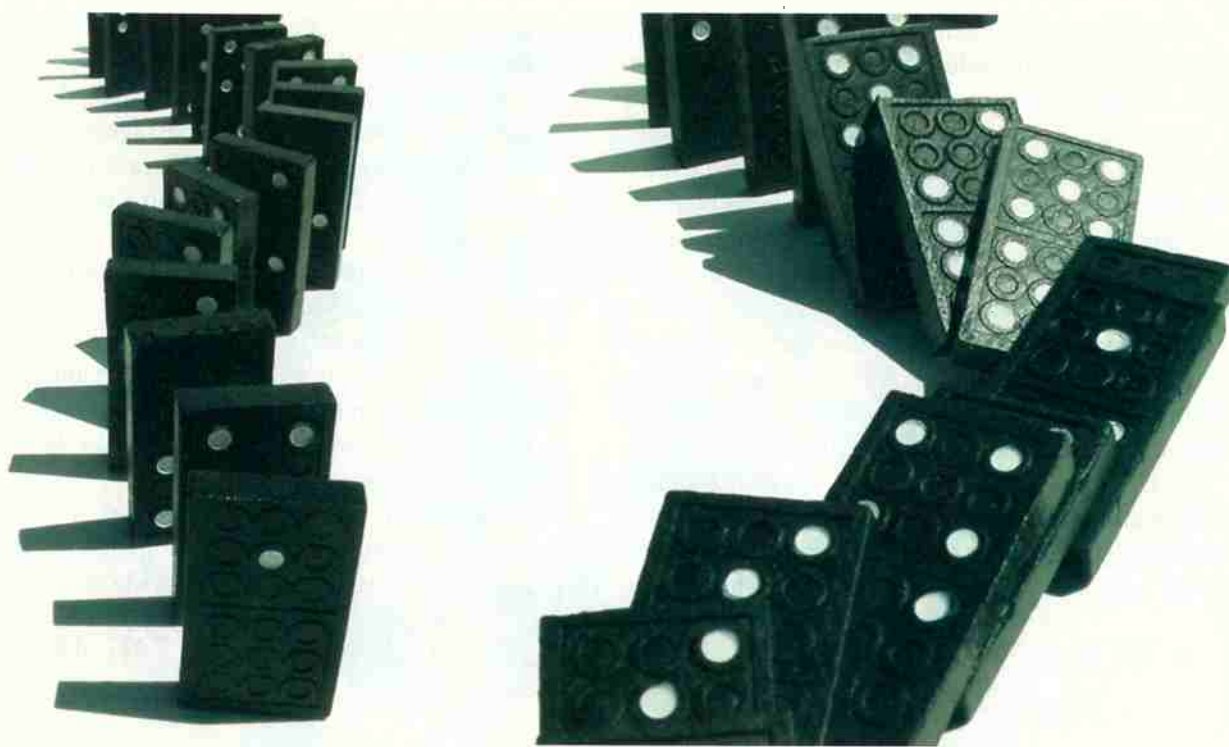
mas sim de fases que encontramos, regularmente, segundo os domínios ou os problemas levantados no decorrer do período sensoriomotor, depois de 2 anos, até o nível das operações formais".

Esse conhecimento, em que é possível a passagem das condutas alfa para beta e para gama, e as análises que podem ser feitas do ensino em sala de aula mostram a necessidade de aumentar o espaço de diálogo entre professor e aluno e de incentivar as argumentações entre os próprios alunos em sala de aula. Os debates e as discussões entre iguais promovem a otimização das perturbações intra-alunos, nos quais os argumentos de uns promovem a reelaboração dos argumentos de outros. Observando vídeos em que são apresentadas discussões entre alunos, podemos observar uma mudança de conduta de alguns alunos quando eles tendem, então, a formar novas conexões lógicas e passam a compreender a explicação do companheiro.

Aqui temos dois novos conceitos bastante trabalhados por Piaget: compreender e explicar.



INCENTIVANDO-SE A ARGUMENTAÇÃO, a criança articulará as informações necessárias para considerar que a temperatura de ebulição da água pode ser inferior a 100°C



AÇÃO E REAÇÃO. Em suas entrevistas, Piaget explorou o intervalo de tempo entre a ação da criança e a reação do objeto nos fenômenos físicos

Em *As explicações causais*, Piaget e Garcia mostram que "explicar um fenômeno natural se reduz, em última instância, a mostrar suas conexões causais com fenômenos já conhecidos". Esse é um ponto-chave para o ensino das ciências, pois não podemos partir do nada para ensinar um conceito físico ou biológico; temos sempre de fazer os alunos relacioná-lo com fenômenos que eles já dominam. Ao contrário, é muito comum na escola os professores iniciarem uma aula, cujo objetivo é a explicação de um fenômeno, dizendo "hoje vamos começar um assunto completamente novo" sem fazer interação com fenômenos já estudados.

Outro ponto crítico em relação ao ensino das ciências, na escola fundamental e média, diz respeito ao fato de o conteúdo ser trabalhado quase que exclusivamente em seus aspectos legais (no sentido de uma lei física). E se explicar, como define Piaget, é mostrar as conexões causais, torna-se então necessário que o professor de ciências saiba a distinção entre esses dois conceitos: o de causalidade e o de legalidade.

A oposição entre esses conceitos, segundo Piaget, repousa sobre quatro pontos principais:

- As leis se referem a relações repetíveis, obtêm-se por constatação de fatos, permanecendo, por conseguinte, no domínio dos observáveis. As relações causais pelo contrário repassam os observáveis.

- As leis só expressam *relações gerais*; a causalidade envolve *relações necessárias*.

- As leis podem constituir *afirmações isoladas* sobre fatos particulares; a explicação causal requer *relações coordenadas em um sistema*, e só o sistema mesmo é fonte de necessidade.

- A legalidade só envolve operações *aplicadas* aos objetos; a causalidade exige uma *atribuição* das operações do sujeito ao objeto.

Essa última distinção entre a simples *aplicação de transformações operatórias* que intervém na legalidade, mas não na causalidade, e a *atribuição de estruturas operatórias*, na qual consiste a explicação causal, é, segundo Piaget e Garcia, o nó da hipótese piagetiana sobre as relações causais.

Vamos exemplificar a diferença entre a legalidade, quando os alunos aplicam suas operações aos fenômenos físicos, e a causalidade, quando eles passam a atribuir aos fenômenos suas próprias estruturas operatórias, discutindo algumas aulas de ensino de ciências para as primeiras séries do nível fundamental (os vídeos dessas aulas se encontram no endereço www.fe.usp.br).

Em uma das aulas, denominada "O problema da pressão", é proposto que os alunos descubram um jeito de fazer com que um pequeno potinho fique sempre cheio somente jogando água em um tubo de plástico transparente, que fica ao lado do potinho e que tem um orifício por onde a água pode sair.

Os alunos conseguem resolver o problema, em pequenos grupos, quando levantam e testam suas hipóteses. Depois a classe é disposta em uma roda grande e a interação entre os alunos passa a ser dirigida pela professora, utilizando-se de duas perguntas fundamentais: "Como vocês conseguiram resolver o problema?" e "Por que deu certo?". A partir das intervenções da professora, os estudantes vão tomando consciência, passo a passo, aluno por aluno, em uma interação coletiva. Iniciam descrevendo suas primeiras ações e a reação final do objeto para, a partir daí, considerar as ações intermediárias, até completar a descrição de todas as ações que fizeram para resolver o problema.

Ao descrever o que fizeram, eles vão constatando os fatos, ficando no domínio dos observáveis, expressando relações gerais – "quanto mais água eu ponho, mais longe ela vai" e aplicando suas estruturas de pensamento ao fenô-

as suas ações e as reações dos objetos. As relações gradualmente vão sendo desvinculadas das próprias ações para as relações entre os atributos físicos dos objetos e respectivos resultados. Nessa passagem – das ações executadas pelo próprio sujeito para a relação entre os atributos dos objetos – tem início a construção dos conceitos científicos.

É importante reafirmar que a construção dos conceitos científicos é um processo que se inicia com a reconstrução da própria ação e, depois, vai evoluindo para as seqüências exteriores, permitindo uma elaboração gradativa de noções necessárias para a explicação dos fenômenos, isto é, para a proposição de *novidades atribuídas* ao fenômeno físico.

A relação entre esses dois conceitos – tomada de consciência e conceitualização – foi assim descrita por Piaget em *A tomada de consciência*: "A tomada de consciência

"A TOMADA DE CONSCIÊNCIA DE UM ESQUEMA DE AÇÃO" TRANSFORMA ESTE ESQUEMA NUM CONCEITO"

meno (relacionando ponto a ponto a altura da coluna de água com a distância do jato).

Encontramos também falas dos alunos que explicam por que a experiência deu certo com frase como: "Quando a gente põe bastante água, a água começa a pesar muito e a pressão para baixo aumenta, então a água vai mais longe". Essas falas mostram que alguns alunos vão além dos observáveis, pois aparecem palavras como pressão e força que não podem ser observadas diretamente. Força ou pressão é um conceito atribuído à água por ela estar a um certo nível e com isso ser capaz de acertar exatamente um local. Isso é o importante, pois reflete a procura de relações entre as grandezas, que fazem com que as crianças sintam necessidade de buscar uma palavra em seu vocabulário para poder explicar um fenômeno.

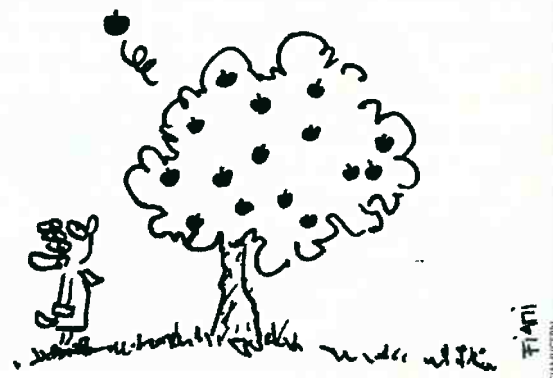
Essa série de aulas mostra que, ao se dar um problema de conhecimento físico para os alunos resolverem em grupo e, a partir dessa resolução, estabelecer uma interação construtiva professor/classe, eles começam a tomar consciência das coordenações dos eventos. A tomada de consciência está, pois, longe de constituir apenas uma simples leitura: ela é uma reconstrução feita pelo aluno de suas ações e do que ele conseguiu observar durante a experiência. Pensando no que fez, para poder falar, para contar para o professor e para a classe, o aluno vai fazendo ligações lógicas, estabelecendo conexões entre

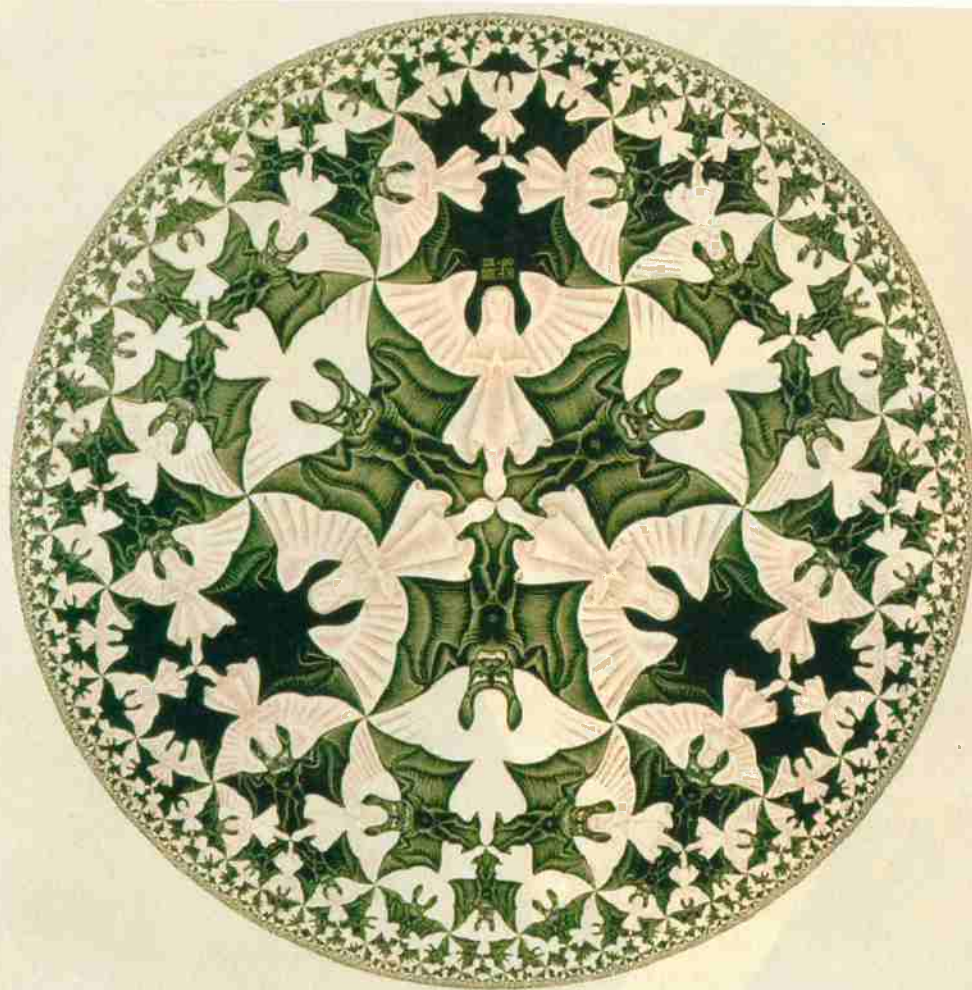
de um esquema de ação transforma este esquema num conceito, consistindo, portanto, essencialmente, numa conceitualização – e mais, a tomada de consciência, parte da periferia (objetivos e resultados), orienta-se para as regiões centrais da ação quando procura alcançar o mecanismo interno desta: reconhecimento dos meios empregados, motivos de sua escolha ou de sua modificação durante a experiência etc.". É exatamente o que encontramos na análise dessa aula.

Assim, o livro *As explicações causais*, que leva ao entendimento da inter-relação entre as explicações legais e as explicações causais para a construção do conhecimento físico das crianças e adolescentes e entre o desenvolvimento causal e o desenvolvimento lógico-matemático,

ISAAC NEWTON E A ANTIMAÇA, charge que brinca com a idéia de que a lei da natureza é necessária e universal

ISAAC NEWTON ET L'ANTIPOMME





PARAÍSO E INFERNO (1960), gravura de Escher inspirada no disco hiperbólico do matemático Poincaré

dá subsídios para que o professor organize um ensino de ciências que crie condições para as crianças e adolescentes se desenvolverem nos campos do conhecimento físico e lógico-matemático, ajudando-os a entrar no mundo das ciências e a se desenvolver como cidadãos.

Também é grande, para o ensino das ciências, a importância do livro *Psicogênese e história das ciências*, de Piaget e Garcia, pois é essencial que os professores tomem consciência de que sozinhos os alunos têm muita probabilidade de ficar sempre na estrutura do pensamento pré-científico. É necessário que o professor tome consciência da importância de um ensino de ciências que crie condições para que os alunos consigam saltar a barreira do pensamento espontâneo para o pensamento científico.

Os conhecimentos adquiridos com a teoria de Piaget e os trabalhos de todo o seu grupo de pesquisadores possibilitam tanto uma crítica severa ao ensino tradicional, voltado à exposição de conceitos e teorias já elaborados,

como ter elementos para criar metodologias de ensino adequadas a levar os alunos a interagirem com a estrutura criativa das teorias científicas.

É necessário lutar contra um ensino de ciências voltado somente para a legalidade dos fatos e teorias, que nunca cria oportunidade para que os alunos busquem a causalidade dos fenômenos naturais.

VMC

PARA CONHECER MAIS

A tomada de consciência. J. Piaget et al. Melhoramentos/Edusp, 1978.

Da lógica da criança à lógica do adolescente. B. Inhelder e J. Piaget. Pioneira, 1976.

Equilíbrio das estruturas cognitivas. J. Piaget. Zahar, 1976.

Fazer e o compreender. J. Piaget. Melhoramentos/Edusp, 1978.

Les explications causales. R. Garcia e J. Piaget. P.U.F. (Paris), 1971.

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