

MEDEIROS, A; MEDEIROS, C. F. de; *Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.

MODELLUS. *Modelling with mathematics*. Disponível em: <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>. Acesso em: 10 jul. 2005.

MOREIRA, M. A. *Modelos mentais. Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 196-206, set./dez.1996.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. *Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de conceptos cuánticos*. In: Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales. Ed. M. A. Moreira; I. M. Greca. Porto Alegre: IF-UFRGS, 2004.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica. 1. ed. Ver.* São Paulo: Edgard Blücher 1993. v. 1. Mecânica.

POWERSIM. Versão demo. Disponível em: <http://www.uni-klu.ac.at/users/gossimit/sw/PSLite.exe>. Acesso em: 10 jul. 2005.

SANTOS, A. de C. K. dos; CHO, Y.; ARAUJO, I. S.; GONÇALVES, G. P. *Modelagem computacional utilizando STELLA*. Rio Grande: Editora da FURG, 2002.

TEODORO, V. D. *Modelação no ensino de Física: seis idéias básicas*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15., 2003, Curitiba. *Atas*. Curitiba: Nilson Garcia, 2003. 1CD-ROM.

TEODORO, V. D.; VALENTE, M. O. *Modellus, modelação matemática nas ciências Físicas e renovação do currículo*. Inovação, Lisboa, v. 14, n. 3, 2001.

VEIT, E. A.; MORS, P. M. & TEODORO, V. D. Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.24, n.2, p.176-184, jun. 2002.

VEIT, E. A. *Modelagem computacional no ensino de Física*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005. Rio de Janeiro.

CINQUENTA ANOS DE ENSINO DE FÍSICA: MUITOS EQUÍVOCOS, ALGUNS ACERTOS E A NECESSIDADE RECOLOCAR O PROFESSOR NO CENTRO DO PROCESSO EDUCACIONAL.

Alberto Gaspar*

RESUMO: Faz-se uma reflexão sobre o reiterado insucesso das propostas educacionais para o ensino de física apresentadas nos últimos cinquenta anos. Tem-se por hipótese que orienta esta reflexão o deslocamento do professor do centro do processo educacional como causa principal desse insucesso. Atribui-se às bases teóricas dessas propostas – o empirismo intuitivo dos projetos curriculares, o behaviorismo, essência da instrução programada, e o cognitivismo piagetiano, fundamento da maioria das propostas construtivistas – a causa dessa quase completa alienação do professor de seu papel no processo de ensino e aprendizagem das ciências. Tendo por base a Teoria Sócio-histórica de Vigotski, conclui-se pela necessidade de rever essa postura e recolocar o professor no centro do processo educacional sob pena de negar a própria natureza humana desse processo.

Palavras-chave: Ensino de física, Propostas curriculares, Livros didáticos Instrução programada.

1. Introdução

Faz-se uma reflexão sobre o reiterado insucesso das propostas educacionais para o ensino de física apresentadas nos últimos cinquenta anos. Tem-se por hipótese que orienta esta reflexão o deslocamento do professor do centro do processo educacional como causa principal desse insucesso.

* Departamento de Físico – Química - Faculdade de Engenharia Universidade Estadual Paulista - UNESP
Campus Guaratinguetá
CP: 205 – CEP: 12516-410 - Guaratinguetá – São Paulo
<gaspar@feg.unesp.br>

Atribui-se às bases teóricas dessas propostas – o empirismo intuitivo dos projetos curriculares, o behaviorismo, essência da instrução programada, e o cognitivismo piagetiano, fundamento da maioria das propostas construtivistas – a causa dessa quase completa alienação do professor de seu papel no processo de ensino e aprendizagem das ciências. Tendo por base a Teoria Sócio-histórica de Vigotski, conclui-se pela necessidade de rever essa postura e recolocar o professor no centro do processo educacional sob pena de negar a própria natureza humana desse processo.

2. As propostas curriculares

Uma das primeiras iniciativas de pensar e efetivar um ensino de física atualizado, motivador e eficiente foi o projeto do PSSC (Physical Science Study Committee). Criado nos EUA, em 1956, sob o patrocínio da National Science Foundation, o projeto inseriu-se em uma ampla mobilização nacional resultante do profundo impacto causado na época pelo lançamento do Sputnik I, primeiro satélite artificial da Terra. O trauma deveu-se a uma evidência refletida por esse lançamento – a dianteira tecnológica assumida pela URSS sobre os EUA – e sugeria aos norte-americanos a necessidade de providências urgentes para reverter esse quadro sobretudo pela reformulação da formação educacional dos seus estudantes: “O Sputnik tornou claro ao público norte-americano que a mudança da educação, em particular do currículo de matemática e ciências, era assunto de interesse nacional” (BYBEE, 1997).

O PSSC se compunha de um texto básico que sintetizava a filosofia da proposta: “nele a física é apresentada não como um simples conjunto de fatos, mas basicamente como um processo em evolução, por meio do qual os homens procuram compreender a natureza do mundo físico”. Complementavam o livro texto, “estritamente correlacionados, um guia de laboratório e um conjunto de aparelhos modernos e baratos, um grande número de filmes, testes padronizados, uma série crescente de publicações preparadas por expoentes nos respectivos campos e um extenso livro do professor, diretamente ligado ao curso” (PSSC, 1963, pg. 7).

O “extenso livro do professor” orientava a sua atividade, sobretudo em relação a ênfase a ser dada aos diferentes conteúdos, apresentava conteúdos suplementares e notas de laboratório em que eram dadas informações auxiliares e indicados os momentos mais adequados para que os alunos realizassem com maior proveito as atividades experimentais sugeridas.

Em síntese, o PSSC estava centrado, de um lado, em uma nova proposta curricular de física, e de outro, no entendimento de que o aluno só poderia aprender ciência por si, a partir da atividade experimental, como se dizia no prefácio do guia de laboratório incluído no texto básico: “As idéias, os conceitos, e as definições, só têm, na verdade, um sentido efetivo quando baseados em experiências”. E essas experiências dariam ao aluno a possibilidade de simular o papel do cientista na descoberta da ciência, como se afirmava logo adiante: “Ao realizar experiências cujo resultado, de antemão, lhe é desconhecido, fica o aluno tomado por uma sensação de participação pessoal nas descobertas científicas; tornam-se-lhe mais significativas a ciência e a importância do cientista.” (PSSC, 1963, pg. 213).

Os resultados do PSSC não foram animadores nem nos EUA nem nos demais países em que foi aplicado. No Brasil, os textos foram editados no início da década de 1960 pela Editora Universidade de Brasília e o material experimental produzido pela Funbec (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências), empresa criada em 1966 e que teve na produção desses equipamentos sua principal atividade inicial. A aplicação do projeto no entanto foi muito restrita, limitada a poucas escolas onde lecionavam os poucos professores que dele tomaram conhecimento e se sentiram capazes de fazê-la. Alguns, embora o conhecessem não animaram a aplicá-lo (esse foi nosso caso) principalmente pela dificuldade de utilização do material experimental entregue às escolas pela Funbec, com muitos *kits* incompletos, sem identificação adequada ou qualquer instrução auxiliar além daquela do próprio texto. Acresce ainda o currículo proposto, desvinculado da nossa realidade educacional e para o qual certamente a esmagadora maioria dos professores não estava preparada.

Outras causas devem ter determinado o insucesso dessa proposta em outros países, mas a nosso ver, de todas as causas possíveis para esse insucesso, a mais relevante se originou paradoxalmente de sua maior virtude, a inédita e notável comissão que o criou formada por centenas e professores de física e alguns educadores, liderados por uma equipe de físicos do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) coordenada pelo professor Jerrold R. Zacharias.

Essa comissão foi influenciada pelas idéias do pedagogo americano Jerome Bruner – Zacharias, em particular, seu amigo pessoal – que logo se materializariam em um dos textos básicos da educação em ciências do século XX, *O Processo da Educação* (BRUNER, 1960). Essa influência se refletiu na ênfase curricular, baseada em um novo ordenamento lógico para a apresentação da física, dada à estrutura dos textos, mas grande parte da orientação pedagógica do projeto não encontrava respaldo nas idéias de Bruner; baseou-se nas intuições ou crenças pedagógicas do próprio Zacharias, avalizadas pelos membros da comissão: “Zacharias não acreditava em um ensino de ciências fundado em abstrações e queria que tudo no seu projeto do PSSC estivesse firmemente baseado na experimentação. Na avaliação de Zacharias, manifestações de verdades tangíveis, visíveis, tinham de preceder fórmulas e gráficos, e não há nenhuma sugestão nesse sentido nas idéias de Bruner” (RAIMI, 2004).

Assim, a crença de que a experimentação levaria à compreensão ou até mesmo à redescoberta de leis científicas – idéia que hoje seria classificada como um equívoco epistemológico – permeou todo o projeto dando a ele ênfase exagerada e irrealista ao papel da experimentação o que, a nosso ver, levou toda a proposta ao fracasso. É importante, em defesa de Bruner, muitas vezes citado como mentor pedagógico desse projeto, explicitar a sua descrença em relação a essa concepção: “Um bom intuitivo pode ter nascido com algo especial, mas a sua intuição funciona melhor quando ele tem um sólido conhecimento do conteúdo, uma familiaridade que dá substância à intuição” (BRUNER, 1960, p.56).

De qualquer forma, essa proposta tornou-se um marco no ensino de física em todo o mundo e desencadeou um saudável movimento de renovação educacional em ciências com o surgimento de outros projetos

semelhantes, como o Projeto Harvard (Harvard Project Physics) lançado em 1975, precedido de uma versão inicial em 1970. De acordo com a tradução do texto básico para português realizada pela Fundação Calouste Gulbenkian, de Lisboa, o Projeto Harvard era composto de “uma grande variedade de materiais de aprendizagem entre os quais o livro-texto era apenas um; existiam ainda as colectâneas de textos, manuais de atividades, guias para o professor, livros de instrução programada, filmes sem-fim ‘loop’, filmes de 16 mm, transparências, aparelhos e livros de teste” ((HOLTON, RUTHERFORD e FLETCHER, 1985, pg. XI).

Apesar dessas semelhanças com o PSSC, tinha como característica a distingui-lo o enfoque humanista, como está explícito em um de seus objetivos:

“Ajudar os alunos a verem a física como uma actividade com muitas facetas humanas. Isto significa apresentar o assunto numa perspectiva cultural e histórica, e mostrar que as idéias da física têm uma tradição ao mesmo tempo que modos de adaptação e mudança evolutivos” (HOLTON, RUTHERFORD e FLETCHER, 1985, pg. X).

Outro projeto importante, não traduzido para o português, foi o Projeto para o Ensino de Ciências da Fundação Nuffield. Há quem diga que o Nuffield foi uma espécie de resposta inglesa ao PSSC, não adotado no Reino Unido, e como ele era também um projeto curricular produzido por uma grande equipe de físicos e educadores. Sua preocupação era dar ao aluno uma formação básica que o tornasse “quase um físico”, seguindo um enfoque curricular voltado para o conhecimento futuro: “A física, e com ela o mundo, está mudando tão rapidamente que ninguém pode prever quais capítulos da física serão utilizados dentro de, digamos, dez anos. Mas estamos inteiramente seguros de que há algumas idéias básicas que serão mais apropriadas para os novos problemas de amanhã. Procuramos basear este curso no que acreditamos serão essas idéias” (BLACK & OGBORN, 1975, pg. 2).

Esses três projetos curriculares foram os mais importantes, tanto pelo seu alcance – não se limitaram aos países de origem, mas foram traduzidos e testados em muitos outros países – como também pela qualidade das suas equipes e pelo material produzido, mas houve muitos

em muitos outros países. No Brasil, consideramos o mais importante deles o PEF (Projeto de Ensino de Física), iniciativa do Instituto de Física da USP em convênio com o MEC e duas de suas instituições na época, a FENAME (Fundação Nacional do Material Escolar) e o PREMEN (Programa de Expansão e Melhoria do Ensino). Compunha-se de um texto básico, apresentado em quatro conjuntos de fascículos – Mecânica 1, Mecânica 2, Eletricidade e Eletromagnetismo – acompanhados de um material experimental muito simples, de baixo custo, e de guias do professor. Tendo em vista a realidade brasileira, os fascículos tinham preço acessível e incluíam o material experimental. Pela mesma razão optou-se por apresentar textos suplementares incluídos no texto básico.

Para a elaboração do projeto “formou-se uma equipe de cientistas (pesquisadores de física nuclear) e de professores com larga experiência no ensino médio e universitário, além de programadores visuais e jornalistas” (HAMBURGER & MOSCATI, 1974). Não havia pedagogos na equipe, mas muitos de seus membros cursavam na época o recém criado mestrado em ensino de física, programa conjunto do Instituto de Física e da Faculdade de Educação da USP. A concepção pedagógica que se infere do projeto reside no estímulo à postura ativa e individual do aluno, na crença na validade do método científico e na convicção de que a experimentação é essencial para a compreensão dos conceitos físicos: “[...] a parte experimental do PEF é integrada ao curso, sendo praticamente impossível seguir o texto sem realizar as experiências lá especificadas. Assim, o equipamento experimental não deve ser encarado como um apêndice acessório ao texto, mas como parte integrante do curso, sem o qual ele fica mutilado” (HAMBURGER & MOSCATI, 1974).

Mas, assim como o PSSC, Harvard e Nuffield, o PEF também não obteve sucesso. Com exceção de algumas causas específicas, brasileiras, como a ineficiente distribuição do material, a qualidade do material experimental e a dificuldade de obtenção dos guias do professor, a causa principal do insucesso do PEF foi, a nosso ver, a mesma já atribuída ao PSSC: a superestimação da capacidade do material instrucional na promoção da aprendizagem ancorada basicamente na experimentação.

Apesar do cuidado com que foram elaborados os guias destinados ao professor, dele se pedia e se esperava muito pouco. O estímulo à interação individual do aluno com o material era explícito, como mostram estas recomendações iniciais dadas ao estudante:

“Elaboramos este curso para que você possa aprender física de um modo *ativo*. Isto significa que você vai realizar experiências, analisar e discutir os resultados obtidos, responder a perguntas e resolver problemas.

[...]

1. Você pode trabalhar sozinho ou então em pequenos grupos de até 5 alunos. Mesmo trabalhando em grupo, é importante que você faça as tarefas sozinho, para que aprenda melhor.

2. Leia o texto com atenção, tentando responder *sozinho* a cada uma das questões [...].

3. *Depois* de responder a cada questão, *discuta* com os seus colegas se a resposta está correta e por quê.

4. O professor, ou o próprio texto, indicará o momento em que você deve comparar sua resposta com as respostas corretas [...] “ (HAMBURGER & MOSCATI, 1974).

Os termos grifados em itálico são originais, os trechos sublinhados são nossos. Todos evidenciam a função orientadora, não essencial, reservada ao professor na concepção do projeto – o aluno trabalhando sozinho aprenderia melhor e, até para essa função orientadora, o professor podia ser dispensado, bastava o aluno recorrer ao próprio texto.

3. A instrução programada

A tendência de transferir a responsabilidade da aprendizagem ao aluno, dispensando-o da interação com o professor, acentuou-se com o advento da instrução programada. Fundados no behaviorismo, os textos programados fragmentavam o conteúdo em pequenos trechos nos quais eram inseridas lacunas ou indagações para que o aluno as completasse ou respondesse. Partia-se do pressuposto de que a resposta certa, além de

elemento reforçador que estimulava o aluno a prosseguir, era também um indicativo válido da aprendizagem: resposta certa era indicativo seguro de conhecimento adquirido.

Ao professor restava apenas o papel de gerenciador do processo: distribuir material, estabelecer e controlar cronogramas, e aplicar provas, estas freqüentemente já incluídas no pacote educacional. Radicalizava-se o pressuposto dos projetos curriculares, ensinar não era a obrigação dos professores, talvez nem saber – nenhuma das propostas de instrução programada que conhecemos tinha guia do professor – mas do material. Aprender, claro, continuava a ser responsabilidade exclusiva do aluno.

Houve na época um intenso movimento voltado à publicação de textos auto-instrutivos em todo mundo. No Brasil, em meado da década de 1970, surgiu com grande repercussão, sobretudo comercial, o projeto FAI (Física Auto Instrutivo), criado por um grupo de professores do Instituto de Física da USP – contemplava praticamente todo o currículo tradicional de física do antigo segundo grau em cinco textos de instrução programada. Aqui, como colaborador marginal na elaboração dos textos, aplicador do projeto em sala de aula e, de início, uma pessoa absolutamente convicta dos seus pressupostos pedagógicos, vale a pena um depoimento pessoal:

Trabalhei com os cinco textos programados do FAI durante quase dois anos em várias turmas dos três anos do então segundo grau. Foi certamente o período mais frustrante de minha longa carreira de professor. De início, a sensação de minha inutilidade em sala de aula – os alunos, envolvidos em sua interação com o texto, mal notavam a minha presença – era compensada com a expectativa de que, agora sim, eles estariam aprendendo. Nunca os havia visto tão concentrados, lendo, estudando, preenchendo lacunas, alguns até com avidez e entusiasmo. As avaliações pareciam dar bons resultados, mesmo porque abordavam tópicos de conteúdo relativamente curtos e eram repetidas até que os alunos atingissem um nível de acerto considerado satisfatório. A instrução programada preconizava o respeito ao ritmo individual de compreensão do aluno e a condição para passar a um novo tópico era o domínio do conteúdo do tópico anterior, daí a repetição das avaliações até que se pudesse considerar o aluno capaz de ir adiante. Como é óbvio, não havia reprovações.

Com o tempo, percebi que a aprendizagem dos alunos era estranhamente passageira, algo que não se consolidava, uma espécie de “frente de onda” que parecia conter o domínio do aluno de algum fragmento de conteúdo, talvez induzido pelos estímulos recorrentes do próprio texto ou das próprias avaliações. Mas logo o conhecimento adquirido desaparecia praticamente sem deixar rastros. No último bimestre do segundo ano da aplicação da proposta, angustiado e convencido da ineficiência da proposta, voltei às minhas aulas tradicionais e a interagir diretamente com os alunos. Desde então começou a se consolidar em mim a convicção de que não há material ou proposta pedagógica que possa prescindir da ação direta e insubstituível do professor.

Não foi possível saber se esse foi um caso isolado ou se ocorreu também com outros professores, até porque a aplicação da instrução programada no Brasil, que em pouco tempo havia se estendido a muitas outras disciplinas além da Física, teve curta duração – foi bruscamente interrompida com a proibição por parte do MEC da publicação de livros descartáveis. Como todos os textos de instrução programada tinham de ser descartáveis, pois os alunos os utilizavam como material de trabalho, essa proibição inviabilizou a continuidade da proposta. Mas, mesmo nos países em que não houve essa ação oficial, a instrução programada acabou por extinguir-se também. E um dos pensadores que mais contribuiu para o abandono desse equívoco pedagógico foi Jean Piaget cujas idéias, desde então, passaram a dominar o pensamento educacional brasileiro.

4. Das teorias cognitivas ao construtivismo

Piaget contestava a possibilidade de alguém aprender alguma coisa sem que tivesse a estrutura mental que possibilitasse essa aprendizagem. Assim, um aluno só podia dar uma resposta certa se a estrutura mental que permitisse essa resposta já estivesse instalada em sua mente. Dessa forma, para Piaget, o aluno, que já estava colocado no centro do processo de aprendizagem, deveria situar-se também no centro do processo de ensino. Em outras palavras, o aluno não deveria ser apenas o responsável pela própria aprendizagem, como implícita ou explicitamente preconizavam os projetos curriculares e a instrução programada, mas ele, ou melhor, a sua estrutura de pensamento, deveria ser também o balizador do ensino.

Durante décadas de um extraordinário trabalho de pesquisa, Piaget e sua equipe haviam mapeado o cérebro humano, descobrindo a forma como nossas estruturas lógicas de pensamento evoluem. Utilizando uma analogia atual, Piaget e sua equipe teriam descoberto quais e como se instalam geneticamente os programas lógicos que compõem a estrutura do cérebro humano. E, assim como um computador só pode executar tarefas para os quais esteja previamente programado, o cérebro humano só pode processar as informações para as quais nele já tenham sido instalados os programas capazes de fazê-lo.

Em síntese, a implicação básica da teoria piagetiana foi o estabelecimento de um novo critério para a estrutura curricular de qualquer disciplina: ela não deveria buscar a estrutura lógica da ciência que é seu objeto, procedimento até então seguido pelos projetos curriculares e pelos textos de instrução programada, mas obedecer à estrutura lógica de pensamento do aluno para o qual o ensino dessa ciência se destina. Por exemplo, seria inútil ensinar conceitos abstratos a um aluno antes dele dispor das estruturas formais de pensamento que possibilitariam a sua aquisição, o que, de acordo com a teoria piagetiana, só acontece ao final da adolescência.

A clareza das idéias de Piaget fundadas em um vasto, sólido e consistente acervo de pesquisas, não só tornava óbvias as causas do fracasso de todas as iniciativas voltadas ao ensino de ciência até então propostas como passou a redirecionar praticamente toda a atividade de pesquisa dessa área de ensino. A primeira grande linha de pesquisa inspirada nas idéias piagetianas foi a elaboração de currículos compatíveis com os quatro estágios de desenvolvimento cognitivo do cérebro humano, geneticamente programados, estabelecidos por essa teoria: sensorio-motor, pré-operatório, operatório-concreto e operatório-formal. Era preciso adequar os conteúdos e a forma de sua apresentação às estruturas mentais que provavelmente estariam disponíveis na mente do aluno na ocasião em que esses conteúdos seriam ensinados.

Mas enquanto uma parcela dos pesquisadores piagetianos voltava-se às implicações educacionais dos estágios de desenvolvimento cognitivo, outra procurava delimitar melhor esses estágios buscando, por exemplo,

validar essa espécie de “cronograma genético-cognitivo” em diferentes amostras da população de diferentes regiões. O instrumento utilizado para essa validação foram algumas tarefas cognitivas entre aquelas apresentadas em uma das obras de maior impacto educacional da teoria piagetiana: Da lógica da criança à lógica do adolescente (PIAGET & INHELDER, 1976). A forma como essas tarefas eram realizadas ou solucionadas por um adolescente ou adulto indicaria o seu estágio de desenvolvimento cognitivo. Os resultados foram surpreendentes. Uma revisão desses trabalhos (CHIAPETTA, 1976) atesta que grande parte das pessoas, mesmo em idade adulta, não chegava a atingir o estágio operatório formal.

Esses resultados levaram a duas conseqüências imediatas. A primeira, em relação às estruturas curriculares de fundamentação piagetiana: o ensino de conceitos formais aos adolescentes deveria ser reduzido ao mínimo, senão descartado, pois eles, em sua esmagadora maioria, não tinham a estrutura mental que possibilitasse a sua aprendizagem. A física, portanto, só lhes poderia ser apresentada por meio de um enfoque experimental, concreto, sem formulações abstratas, privilegiando-se seu aspecto informal ou cultural.

A segunda conseqüência teve conseqüências mais graves. Se grande parte da população adulta pesquisada não apresentava uma estrutura formal de pensamento, tornava-se difícil aceitar a existência de uma programação genética para a estrutura do cérebro humano, postulado básico da teoria piagetiana. Comparando a suposta formação genética do cérebro com a formação genética de nossa dentição, seria o mesmo que encontrar grande parte da população adulta sem seus dentes molares ou pré-molares simplesmente por que não teriam nascido.

Piaget, de certa forma, reconheceu as dificuldades do seu modelo de estágios cognitivos e tentou contorná-las postergando o cronograma da evolução genética do pensamento e restringindo-a a áreas específicas do cérebro humano: “todos os sujeitos normais atingem o estágio das operações formais, de 11 ou 12 anos a 14 ou 15 anos, ou em qualquer caso, entre 15 ou 20 anos. Entretanto eles atingem esse estágio em diferentes áreas, de acordo com suas aptidões ou especializações profissionais – a forma pela qual essas estruturas são usadas, no entanto,

não é necessariamente a mesma em todos os casos” (PIAGET, 1972). Mas o abalo causado por essas pesquisas foi fatal – a sua teoria de estágios cognitivos acabou por ser abandonada assim como todas as propostas curriculares nela balizadas.

A convicção de que a aprendizagem é função do desenvolvimento, no entanto, continuou a prevalecer. Uma formulação que costumamos chamar de neopiagetiana, sugeria que a programação genética do cérebro humano existe, mas nem sempre se manifesta – as estruturas formais de pensamento se completam mas não são detectadas, pois há obstáculos à sua utilização. Assim, podemos comparar a estrutura formal do pensamento a um grande armário com inúmeras “gavetas lógicas” onde as concepções formais seriam acomodadas e logo em seguida assimiladas. Todas essas gavetas lógicas se formariam, obedecendo ao cronograma genético piagetiano, mas muitas não poderiam ser utilizadas. Seria como se elas já estivessem cheias em decorrência de sua origem genética ou cultural: a primeira, faria com que algumas gavetas já nascessem assim; a segunda, faria com que elas se “enchessem” durante o crescimento da criança, na interação com seu ambiente cultural.

Ressalvadas as possíveis inadequações das analogias, essa pode ser a síntese da tese da hipótese das concepções espontâneas, alternativas ou pré-concepções, linha de pesquisa em ensino de ciências preponderante nas duas últimas décadas do século passado. Em todo o mundo, pesquisadores saíram em busca dessas “gavetas lógicas já cheias” – era preciso achá-las para esvaziá-las, caso contrário seria impossível o ensino das concepções científicas que delas dependiam para serem acomodadas e assimiladas. Muitas foram encontradas. Conhecemos hoje um grande acervo de pré-concepções, sobretudo em física, mas todas as tentativas de “esvaziar essas gavetas” eliminando as pré-concepções dos alunos que “as enchem” fracassaram. Hoje são poucos os que ainda insistem nesses diagnósticos e praticamente não há mais iniciativas destinadas a eliminar nenhuma dessas pré-concepções diagnosticadas – a grande maioria dos pesquisadores em ensino parece reconhecer essa linha de pesquisa como estéril e inócua.

Esse imenso trabalho, no entanto, não foi inteiramente em vão. As tentativas de superação dessas pré-concepções consolidaram um conjunto

de procedimentos didáticos que acabou por configurar uma nova proposta educacional, o construtivismo. Não há, ainda hoje, uma concepção clara do que seja o construtivismo nem de qual deva ser sua base teórica, mas é indiscutível a vinculação da maioria das propostas construtivistas à teoria piagetiana, sobretudo por sua origem. Até o nome construtivismo parece originar-se de uma analogia freqüentemente usada por Piaget: “o desenvolvimento mental é uma construção contínua comparável à edificação de um grande prédio que, a medida que se lhe acrescenta algo, ficará mais sólido” (PIAGET, 1973).

Há propostas construtivistas com outras fundamentações teóricas, mas tendo em vista o foco destas reflexões, optamos por destacar apenas um dos traços comuns a todas elas aproximando-as dos antigos projetos curriculares e da instrução programada: a responsabilidade pela aprendizagem continua a ser do aluno – é ele quem deve construir o seu conhecimento de forma ativa e concreta. Ao professor cabe avaliar a melhor estratégia para que ele tenha sucesso nessa construção levando em conta seu nível cognitivo e, principalmente, suas pré-concepções. Sua ação continua restrita à orientação, ao fornecimento de pistas e de dicas. Como sempre, o professor indica o caminho, mas é o aluno que deve aprender e quem aprende, aprende sozinho.

Essa parece ter sido a grande armadilha em que caíram todas as propostas de ensino de física nestes cinquenta anos. Talvez pela forte rejeição ao autoritarismo do professor, sintetizado no *magister dixit*, espécie de divisa ideológica da pedagogia tradicional contra a qual essas propostas sempre se voltaram, o professor, com mais ou menos ênfase, foi sempre posto de lado por todas as teorias pedagógicas que fundamentaram essas propostas. Uma ironia de Piaget (ao menos assim a entendemos) sintetiza bem essa concepção: “A melhor idéia que ouvi de um pedagogo do Bureau Internacional de Educação em Genebra foi feita por um canadense. Disse que em sua província haviam acabado de decidir que cada classe deveria ter duas salas de aula, uma em que o professor está, outra em que ele não está” (DUCKWORTH, 1964).

É justo ressaltar, como exceção a essa unanimidade, o GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física), criado em 1984 também por um

grupo de professores do Instituto de Física da USP e do ensino médio, pois seu alvo explícito é a preparação de professores para um ensino de física voltado à realidade cotidiana. Contribuiu para essa postura pedagógica a visão freireana do processo de ensino e aprendizagem partilhada pelo grupo que o criou. Segundo Luis Carlos Menezes, um de seus coordenadores, seu “grupo não formalizou Freire como referência central, mas foi quem pela primeira vez, para o ensino de uma ciência específica de fato, adotou uma prática dialógica e desenvolveu uma metodologia correspondente”. Assim ele a descreve, brevemente:

“O professor conduz com seus alunos um levantamento de temas de interesse ou relevância para eles, que tenham proximidade com a disciplina da física prevista para a série e nível da turma, num procedimento que, naturalmente, já reflete a vivência e a condição sócio-cultural dos educandos, orientando o professor a apreender a realidade deles e a preparar-se para uma efetiva interlocução. Desta forma, se estabelece uma lista de assuntos de interesse dos alunos, depois ordenada de acordo com os conceitos da ementa formal da disciplina. O aprendizado é então conduzido numa seqüência que favorece a construção conceitual que, na medida do possível, se inicia pelo ‘como funciona’ e prossegue por níveis crescentes de abstração. O GREF produziu livros de Mecânica, Física Térmica, Ótica e Eletromagnetismo utilizados na preparação de professores do ensino médio para adotarem aquela metodologia para cada uma das disciplinas”

(MENEZES, 2005).

Ressalvada essa exceção – e talvez por assim o ser, o GREF ainda se mantém vivo e atuante – essa postura de deslocamento do professor para a periferia do processo educacional foi, a nosso ver, a causa do reiterado fracasso de todas as propostas educacionais em ensino de ciências. Em contraposição, talvez tenha sido também a causa da permanência quase inalterada em nossa escola das mesmas práticas do ensino tradicional que elas se propuseram a extinguir. Estão bem mais atenuadas, é verdade – afinal os tempos são outros – mas na essência, continuam o mesmo autoritarismo do professor e a mesma passividade reflexiva do aluno: *eppur non si muove!*

Já é tempo de refletirmos sobre essa incapacidade de tantos grupos de pesquisa, sobretudo no Brasil, de interferir na prática didática efetiva dos nossos professores. Não se pode imaginar que nada dê certo apenas por causas externas – elas existem, é claro, e não são poucas. É preciso também buscar um novo referencial teórico, um novo olhar que nos explique a razão para tanto insucesso e tanta resistência à mudança. Temos a convicção que esse novo olhar pode realizar-se por meio da Teoria Sócio-histórica de Vigotski.

5. Vigotski e o parceiro mais capaz

É obviamente impossível sintetizar uma teoria em alguns parágrafos. Destacamos aqui apenas algumas idéias que podem auxiliar esta reflexão baseadas sobretudo na tradução mais recente de sua obra mais importante (VIGOTSKI, 2001). Segundo Vigotski, o conhecimento é transferido daqueles que o detêm para aqueles que devem ou querem adquiri-lo por meio da linguagem. É a linguagem que origina o pensamento. A fala egocêntrica de uma criança entretida em suas brincadeiras é, na verdade, a exteriorização do seu pensamento – ela está pensando alto. Quando a criança cresce essa linguagem exterior tende a desaparecer. Seu cérebro e suas estruturas mentais se desenvolvem até que todo o pensamento da criança se interioriza com a interiorização da linguagem.

Ainda em busca da síntese, podemos apresentar a forma como essa teoria entende o processo de ensino e aprendizagem por meio de uma analogia relativamente simples, ressaltando, mais uma vez, as limitações que caracterizam as analogias. A transferência cognitiva de determinado conceito de um professor aos seus alunos pode ser comparada à transferência de um programa de um computador para outro. Essa transferência, no entanto, não se faz diretamente, em um seqüenciamento ordenado de impulsos eletromagnéticos, como ocorre entre computadores. O meio que a possibilita, ou seja, a forma pela qual um aluno pode apropriar-se do “programa” do professor é a linguagem, a interação verbal e simbólica utilizada nessa transferência.

Mas, ao contrário do que ocorre costumeiramente com os computadores que, ou têm memória suficiente e permitem a instalação

imediate do programa, ou não a têm e não o instalam, o cérebro humano constrói a memória de que precisa enquanto instala o programa. Em outras palavras, nossa mente cria as estruturas cognitivas necessárias à compreensão de um determinado conceito à medida que esse conceito é ensinado, ou melhor, à medida que esse conceito está sendo aprendido. Ao contrário da teoria piagetiana para a qual um novo conceito só pode ser aprendido quando as estruturas mentais que essa aprendizagem exige já estiverem construídas na mente do aluno, na teoria de Vigotski essas estruturas mentais só serão ou começarão a ser construídas se e quando esses novos conceitos forem ensinados. Não é o desenvolvimento cognitivo que possibilita a aprendizagem, mas é o processo de ensinar e o esforço de aprender que promovem o desenvolvimento cognitivo.

Para Vigotski, a ferramenta cognitiva básica desse processo é a imitação, e esta tem como corolário a presença indispensável do parceiro mais capaz: “A imitação, se concebida no sentido amplo, é a forma principal em que se realiza a influência da aprendizagem sobre o desenvolvimento. A aprendizagem da fala, a aprendizagem na escola se organiza amplamente com base na imitação. Porque na escola a criança não aprende o que sabe fazer sozinha mas o que ainda não sabe e lhe vem a ser acessível em colaboração com o professor e sob sua orientação” (VIGOTSKI, 2001, pg. 331).

Atualizando a visão de Vigotski, a aprendizagem pode ser entendida também como um processo fisiológico de organização e reorganização de nossas redes neurais e, como tal, pode durar alguns minutos, uma aula, um mês, um ano ou bem mais. Esse tempo depende da forma como o novo conhecimento a ser aprendido é apresentado, da forma como se desenvolve a colaboração com o parceiro mais capaz, do desnível cognitivo a ser superado e da complexidade das estruturas mentais que devem ser construídas para a formação dessas redes que possibilitam essa aquisição.

Todo esse processo costuma ser englobado pelos educadores vigotskianos em uma interação social, processo que se efetiva pela linguagem, no sentido mais amplo do termo, e é sempre assimétrico em relação ao conhecimento nele partilhado. Em uma descrição simplificada, para que essa partilha seja possível, em uma interação social deve haver sempre parceiros mais capazes que detêm esse conhecimento e o transferem

aos parceiros menos capazes que pretendem adquiri-lo. A aprendizagem, ou seja, a aquisição do conhecimento pelos parceiros menos capazes ocorre enquanto estes se apropriam da linguagem dos parceiros mais capazes – apropriar-se da linguagem, no sentido que Vigotski dá ao termo, é apropriar-se do pensamento.

Há certamente muito mais a dizer desta extraordinária teoria educacional, mas essas idéias são suficientes para fundamentar esta reflexão. O aluno, como todo ser humano, não aprende com a manipulação de objetos, com experiências ou diretamente com a natureza – ele aprende com um ou muitos parceiros mais capazes e, entre eles está, é claro, o professor.

Como dizia Heisenberg em uma de suas muitas reflexões sobre filosofia e ciências “não podemos esquecer que as ciências estão ‘entre’ a natureza e o homem”; exemplificando mais adiante: “o conceito de ‘lei da natureza’ não pode ser completamente objetivo, pois a palavra ‘lei’ é um princípio puramente humano” (HEISENBERG, 2000). A física, como toda ciência, é uma construção humana. Ela não está na natureza, mas na mente dos físicos e (deveria estar) na mente dos professores de física, logo só é possível ao aluno aprender física com seus intermediários os quais detêm esse conhecimento, aqueles que estão “entre” o aluno e a natureza.

Uma atividade experimental realizada isoladamente por um grupo de alunos, por mais desafiadora e motivadora que seja, não terá nenhum significado se não houver alguém do grupo ou com ele interagindo que conheça e possa expor o seu modelo explicativo aos demais. Só quem conhece a fundamentação teórica de uma experiência pode realizá-la de forma significativa e fazer com que a mesma possa promover a aquisição do conhecimento para a qual foi proposta e apresentada.

Uma sala de aula sem professor, como ironicamente sugeriu Piaget, não é possível aprender coisa alguma, a menos que nela haja alguém que possa desempenhar o seu papel. A crença de que um material, mesmo rico, motivador e exaustivamente planejado, possa substituir o professor já está sobejamente desautorizada por todos estes anos de insucesso das propostas que partiram desse pressuposto. Vale a pena ainda, para reforço de argumentação, expor a forma como Bachelard via o papel do professor na atividade experimental:

“Em resumo, no ensino elementar, as experiências muito marcantes, cheias de imagens, são falsos centros de interesse. É indispensável que o professor passe continuamente da mesa para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. Quando voltar à experiência, estará mais preparado para distinguir os aspectos orgânicos do fenômeno. A experiência é feita para ilustrar um teorema. [...]. Mais vale a ignorância total do que um conhecimento esvaziado de seu princípio fundamental” (BACHELARD, 1996, pg. 50).

Ressalvada a nossa discordância com a radical opção de Bachelard pela “ignorância total” (talvez uma força de expressão para aguçar a importância da apresentação do modelo teórico durante o desenvolvimento da experiência), é muito importante o seu entendimento do papel do professor e da experiência na aprendizagem. Nenhuma experiência é auto-explicativa – sem a orientação do professor, os alunos muitas vezes nem sequer vêem o que se espera ou se deseja que vejam. E mesmo quando vêem e com essa visão se encantam, não há razão para supor que isso seja o bastante para que aprendam os conceitos que dela podem ser extraídos.

Não é possível acreditar que, pela simples observação do apagar de uma vela tapada por um copo, um grupo de alunos possa concluir que a chama apagou porque consumiu o oxigênio aprisionado; ou que observando um bastão atritado com um lenço atrair papezinhos alguém possa, sem conhecimento teórico prévio, concluir que o lenço cedeu ou tirou elétrons do bastão, este polarizou eletricamente os papezinhos e assim os atraiu. Isso só será possível se o professor, parceiro mais capaz dessa interação, ao passar “continuamente da mesa para a lousa” apresentar aos seus alunos os modelos teóricos criados pelo ser humano ao longo de séculos para descrever essas observações.

6. Concluindo: agora deve ser a vez do professor

A teoria de Vigotski já não é uma ilustre desconhecida, mas poucos parecem ter percebido seu verdadeiro alcance. A maioria dos que nela se iniciam ainda se encanta com o conceito de zona de desenvolvimento proximal (ou imediato, de acordo com a sua nova tradução), idéia inovadora

e profícua, mas que está muito aquém das suas contribuições mais relevantes: a linguagem como formadora do pensamento, a precedência da aprendizagem sobre o desenvolvimento, a imitação como processo cognitivo básico da aprendizagem e, principalmente, o papel da interação social como condição necessária para a viabilização do processo de ensino e aprendizagem.

De todas essas idéias transcende a natureza histórica, social e cultural da formação da mente humana – não é possível conceber que o ensino e a aprendizagem, instrumentos básicos desse processo, possam ser possíveis sem a interação direta entre seres humanos. Para concretizar e sistematizar esse processo nossos antepassados criaram a escola e instituíram o ensino formal; instituições destinadas a tornar possível a transmissão, de geração a geração, do imenso acervo cultural por nós acumulado ao longo de milênios de existência. Não há como prescindir da presença humana, dos detentores desse acervo, no processo educacional – alijar dele o professor ou subestimar o seu papel é negar ou subestimar a própria natureza humana da produção e transmissão do conhecimento.

Se grande parte dos nossos professores está despreparada para exercer essa tarefa – e essa parece ser, infelizmente, a realidade – é preciso voltar nossa atenção para eles, melhorar a sua formação, dotá-los de recursos e meios para que possam continuamente adquirir e dominar o conteúdo que devem transmitir aos seus alunos. Ao contrário do que tem sido feito até aqui, é preciso recolocar o professor no centro do processo educacional, tornado-o de fato o parceiro mais capaz de quem os alunos jamais vão poder prescindir.

Recebido e aprovado em agosto de 2005

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACHELARD, G. – *A formação do espírito científico*, Ed. Contraponto, S. Paulo, 1996, pg. 50.

BLACK, P. J.; OGBORN, J., *Ciencias avanzadas Nuffield, Libro del alumno, unidade 7*, Editorial Reverté, S.A, Barcelona, 1975.

BRUNER, J., *The Process of Education*, Harvard University Press, 1960.

BYBEE, R. W., in *Reflecting on Sputnik: Linking the Past, Present, and Future of Educational Reform*, Washington, 1997 (<http://www.nas.edu/sputnik/index.htm>, acesso em 2005).

CHIAPETTA, E. L., A Review of Piagetian Studies Relevant to Science Instruction at the Secondary and College Level, *Science Education* 60 (2), 1976.

DUCKWORTH, E, *Piaget Redescoberto*, tradução mimeografada de Amélia Rodrigues de Castro, Faculdade de Educação da USP, São Paulo, 1964.

HAMBURGER, E., MOSCATI, G., *Mecânica 1*, FENAME, Rio de Janeiro, 1974.

HEISENBERG, W, BORN, M., AUGER, P., SCHRÖDINGER, E., *Problemas da física moderna*, Ed. Perspectiva, São Paulo, 2000.

HOLTON, G, RUTHERFORD, F. J., FLETCHER, G. W., *Projecto Física, unidade 4*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1985, Lisboa.

PIAGET, J. e INHELDER, B. *Da lógica da criança à lógica do adolescente*, Ed. Pioneira, São Paulo, 1976.

PSSC, *Física, parte 1*, Editora Universidade de Brasília, Edição preliminar, 1963.

MATTOS, C. R. ; GASPAR, A., A origem das propriedades gerais da matéria e a crença dos professores na validade e importância desse conteúdo: uma reflexão do papel do livro didático no ensino de ciências. In: *Atas do VIII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*. São Paulo: SBF, 2002.

MENEZES, L. C., *Paulo Freire e os físicos*, (http://www.paulofreire.org/vida_obra_textos.htm#36, acesso em 2005).

PIAGET, J. *Seis estudos de psicologia*, Forense Universitária, 6ª ed., São Paulo, 1973, pg. 12.

PIAGET, J., Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood; *Human Development*, 15, 1972.

RAIMI, R. A, *Jerome Bruner, The Process of Education*, 2004 (<http://www.math.rochester.edu/people/faculty/rarm/bruner.html> acesso em 2005).

VIGOTSKI, L. S. – *A construção do pensamento e da linguagem*, Editora Martins Fontes, S Paulo, 2001