

EXPERIMENTOS NA CIÊNCIA E NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Derek Hodson
Departamento de Educação
Universidade de Auckland
Auckland, Nova Zelândia

(Publicado em: **Educational Philosophy and Theory**, 20, 53 - 66, 1988.
Tradução, para estudo, de Paulo A. Porto.)

O ensino de ciências deve ocorrer no laboratório; sobre isto, pelo menos, não há controvérsias... O professor e o aluno estão de acordo... em crer que o experimento é a ferramenta correta. (Joan Solomon 1980).

Poucos professores ou elaboradores de currículo parecem questionar a crença de que os cursos de ciências deveriam conter uma quantidade significativa de trabalho no laboratório. O pressuposto quase universal dos educadores em ciências em níveis médio e superior é que o enorme investimento de tempo e energia, e o custo de se providenciar espaço de laboratório especializado, equipamentos e materiais de consumo, são justificados. Enquanto as origens de tais crenças remontam ao trabalho de H. E. Armstrong, ou até anteriores (Layton 1973), o interesse contemporâneo no trabalho prático começou com a “revolução” do currículo de ciências na década de 1960 e no começo da de 1970. O papel central atribuído ao trabalho prático durante esse período foi tal que a NSTA (1970) pôde declarar que “o tempo em que os professores precisavam fazer a defesa dos laboratórios nas escolas, seguramente, já passou”. É preciso admitir, no entanto, que a defesa do oferecimento extensivo de trabalho em laboratório era feito mais na base de “sentimentos profissionais” fortes sobre seu valor do que com base em pesquisas empíricas acerca de sua efetividade. Se é que se pode afirmar algo a respeito, evidências de pesquisas sugerem que o trabalho prático é amplamente improdutivo (Hodson 1985, Hofstein e Lunetta 1982, Shulman e Tamir 1973).

É interessante especular por que o trabalho prático adquiriu um *status* tão elevado na mitologia da profissão do ensino de ciências. Talvez porque os experimentos sejam tão largamente utilizados na ciência que os professores de ciências fiquem condicionados a considerá-los como parte necessária e integral do *ensino* de ciências. Com pouco ou nenhum escrutínio crítico, dois pressupostos são aceitos:

- * O papel dos experimentos na ciência e no ensino de ciências é idêntico;
- * O papel dos experimentos não é problemático.

Como consequência direta desses pressupostos, muitos procedimentos do currículo contemporâneo de ciências, especialmente aqueles que envolvem trabalho prático, são mal concebidos, confusos e de pouco valor educacional (Hodson 1987). Este artigo não sugere a exclusão do trabalho prático do currículo, mas uma reforma radical na prática atual, baseada em uma reavaliação crítica dos papéis do trabalho prático, do trabalho em laboratório, e dos experimentos no ensino de ciências. Até aqui, esses três termos têm sido usados, de certo modo, indiscriminadamente – um engano deliberado para ilustrar a confusão que emerge no debate do currículo de ciências por causa do fracasso em se reconhecer que nem todo trabalho prático é exercido no laboratório, e que nem todo trabalho de laboratório inclui experimentos.

Qualquer método didático que requeira que o aprendiz seja ativo, mais do que passivo, está de acordo com a crença de que os alunos aprendem melhor pela experiência direta. Nesse

sentido, o trabalho prático nem sempre precisa incluir atividades de laboratório. Alternativas legítimas incluiriam a *CAL* (aprendizagem auxiliada por computador), demonstrações feitas pelo professor, ou vídeos/filmes apoiados por atividades de registro de dados, estudos de casos, representações de papéis, tarefas escritas, confecção de modelos, pôsteres e álbuns de recortes, e trabalhos de vários tipos em biblioteca. Em outras palavras, a interpretação mais ampla do trabalho prático como *atividades de aprendizagem de ciências* deveria substituir a interpretação mais restrita de trabalho manual na bancada do laboratório (Reid e Hodson 1987). Assim como é importante reconhecer que o trabalho na bancada do laboratório é um subconjunto da categoria mais ampla de trabalho prático, também é importante reconhecer que “fazer experimentos” é um subconjunto do trabalho na bancada do laboratório. Há outros tipos de trabalho na bancada que não são experimentos no sentido em que os cientistas empregam o termo. O trabalho de laboratório pode ser conduzido visando vários objetivos e em estilos variados. Por exemplo: para demonstrar um fenômeno, ilustrar um princípio teórico, coletar dados, testar uma hipótese, desenvolver habilidades básicas de observação ou medida, adquirir familiaridade com aparatos, propiciar um “espetáculo de luzes, estrondos e espumas”. Alguns desses são “experimentos”, no sentido em que os cientistas concebem o experimento; alguns não são. Ao elaborarem um currículo de ciências que seja tanto filosoficamente válido quanto pedagogicamente adequado, os professores precisam tomar conhecimento dessas várias distinções e relacioná-las às distinções cruciais entre *aprender ciência*, *aprender sobre a ciência*, e *fazer ciência* (Hodson 1989). Cada um destes objetivos distintos pode requerer um diferente perfil de atividades didáticas.

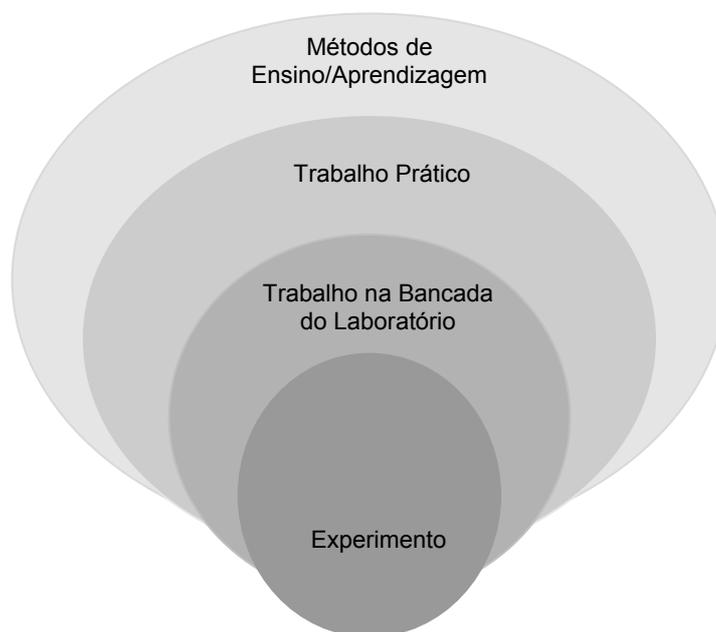


Figura 1 - Relação entre experimentos, trabalho de laboratório e trabalho prático.

Há duas questões principais acerca do papel dos experimentos no currículo. Primeiro, o que os alunos precisam saber sobre a natureza e o objetivo dos experimentos como uma contribuição a seu aprendizado sobre ciências e como uma preparação para fazer ciência? Em outras palavras, qual é o papel dos experimentos como um conteúdo do currículo? Segundo, qual é o papel dos experimentos como um método de ensino? Esta questão enfoca as maneiras através das quais os professores poderiam usar os experimentos para promover a aprendizagem de conceitos, para promover um entendimento mais profundo da natureza do

próprio experimento (aprender sobre os experimentos fazendo experimentos!) e para dar às crianças uma prática no uso deles como parte de suas próprias investigações científicas. Ao lado dessas considerações, existem questões sobre modos alternativos, e possivelmente mais apropriados, de aprender ciência, aprender sobre a ciência, e fazer ciência.

Os experimentos na ciência

O reconhecimento por Francis Bacon de que “os segredos da natureza revelam-se mais facilmente sob a opressão da arte do que quando seguem seus próprios caminhos” estabeleceu firmemente o experimento como o principal meio de aquisição de conhecimento científico. Não é suficiente, argumentou ele, simplesmente “observar a natureza no estado bruto”. Em vez disso, deve-se “torcer a cauda do leão” - manipular o mundo para obter maior acesso aos seus segredos. Os experimentos vão além da (mera) observação; são eventos projetados e estritamente controlados, e é esse controle estrito que lhes dá sua força particular. Muitas questões didáticas surgem a partir daí.

* O método científico é mais poderoso e efetivo quando é capaz de manipular os eventos. De fato, muitos dos eventos observados durante os experimentos não ocorrem no mundo natural. Em tais circunstâncias, a abordagem experimental é capaz de obter informações consideravelmente mais detalhadas e precisas do que as que se originam de observações passivas.

* A ciência orientada por experimentos não é o único tipo de ciência. Enquanto os experimentos frequentemente fornecem aos cientistas meios poderosos para adquirir e testar conhecimentos, eles por si mesmos não são suficientes para fornecer conhecimentos teóricos, nem tampouco são sempre necessários. Muitos campos do empreendimento científico – tais como a geologia e a cosmologia, que lidam com eventos que são remotos e inacessíveis no tempo e no espaço – fazem pouco ou nenhum uso de experimentos. Conjecturas em meteorologia podem ser confirmadas ou refutadas por meio de observações não projetadas. Em alguns campos da medicina, experimentos podem não ser possíveis, ou podem ser indesejáveis por motivos éticos.

* O poder que resulta do controle estrito é também a mais importante fraqueza do método experimental, e uma armadilha em potencial para os desavisados. Experimentos são conduzidos dentro de uma matriz teórica particular, a qual governa a percepção dos cientistas acerca do problema, determina o projeto experimental, influencia a interpretação dos resultados, e assim por diante. As teorias determinam quais experimentos são considerados legítimos e como eles devem ser conduzidos. Por exemplo, ao reunir dados para testar uma hipótese, a forma da hipótese, a natureza e o método da reunião de dados são ditadas pela própria teoria que está sendo testada. Em outras palavras, não existem experimentos independentes de teorias.

Estes três pontos servem para ilustrar um importante princípio do planejamento de currículos de ciências: ao tentar propiciar aos alunos uma compreensão da natureza e dos objetivos dos experimentos, devemos ativamente tomar medidas que evitem reforçar os diversos mitos pré-existentes sobre os experimentos. Não são apenas os não cientistas que acreditam que o método experimental é universalmente essencial à ciência, e que toda a ciência resulta da experimentação. Os professores de ciências convenientemente se “esquecem” de que muitos aspectos da ciência que eles ensinam não são susceptíveis ao estudo experimental direto, de que muitos dos mais importantes avanços teóricos da ciência

não resultaram de experimentação, e de que muitas teorias foram desenvolvidas e reforçadas por métodos indiretos – consistência com outros sistemas teóricos e o uso de “experimentos mentais”, por exemplo – e não por observações baseadas em experimentos (Hacking 1983).

Um mito ainda mais danoso, encapsulado no interior da abordagem do aprendizado por descoberta, é o de que a observação e o experimento fornecem dados objetivos, confiáveis e independentes de teorias – a partir dos quais surgem as generalizações e, finalmente, as explicações teóricas. Ao enfatizar a prioridade das observações, muitos currículos de ciências avaliam de forma muito errada as relações entre observações, teorias e experimentos. Esses currículos vêem a geração de teorias como pouco mais do que um processo de procurar regularidades na Natureza, e vêem as teorias como simples palpites sobre a Natureza – do mesmo tipo que os próprios alunos produzem após alguns momentos de trabalho experimental em laboratório. As teorias são subordinadas à reunião meticulosa e organizada de “fatos” experimentais. Elas são vistas como sendo facilmente validadas por observações diretas, e por testes simples do tipo “sim ou não”. Tal abordagem, que Nadeau e Desautels (1984) chamam de “empirismo abençoado”, dá aos alunos uma impressão exagerada acerca da importância dos resultados experimentais, e uma visão grosseiramente enganadora a respeito da experimentação.

A observação científica não é um assunto simples, e o ensino de ciências que a retrata dessa forma é enganoso. Hodson (1986a, b) e Nadeau e Desautels (1984) descrevem uma série de atividades projetadas para os jovens aprendizes ficarem cientes da não confiabilidade das observações, e de sua dependência para com as teorias. Se a observação (passiva) é dependente da teoria, o que dizer das observações ativas e interrogativas de eventos planejados que constituem a experimentação? É importante que os alunos percebam que todo experimento está localizado dentro de uma matriz teórica, de uma matriz procedimental (um “método” ou “prática” corrente, sustentada por teorias e convenções acerca de como conduzir, registrar e comunicar experimentos) e de uma matriz instrumental (envolvendo diversas teorias de instrumentação). É a compreensão teórica que dá propósito e forma aos experimentos.

Um outro mito predominante é o de que os cientistas podem resolver controvérsias e estabelecer a “verdade” conclusivamente, por meio de experimentos cruciais. Muitos currículos escolares de ciências projetam a noção de que uma hipótese pode ser rejeitada e, por inferência, uma outra pode ser aceita com base na evidência produzida por um simples teste experimental. De fato, diversos currículos sugerem que este é o *único* papel dos experimentos. Este tipo de interpretação ingênua da noção popperiana de falsificacionismo traz consigo um pressuposto de que evidências independentes de teorias estão disponíveis, e que testes não ambíguos são possíveis. Se as teorias são incomensuráveis – um ponto acerca do qual muitos filósofos estão de acordo – não podem existir experimentos cruciais para decidir entre elas. Tais experimentos requereriam que as teorias concorrentes fizessem previsões opostas acerca dos mesmos eventos. Na prática, teorias concorrentes referem-se ao mundo de formas diferentes (frequentemente usando conceitos diferentes) e, portanto, fazem diferentes *tipos* de previsões acerca de fenômenos observáveis. Portanto, em geral somente é possível fazer uma avaliação experimental de uma teoria em seus próprios termos.

O papel crítico dos experimentos é um aspecto importante da ciência, mas as teorias somente são abandonadas quando existem evidências que obrigam a isso (que persistem por longo tempo e atingem o cerne fundamental da teoria) e / ou quando uma teoria alternativa e mais promissora torna-se disponível. É enganoso apresentar aos alunos a idéia de que as teorias são abandonadas por causa de alguns “resultados negativos”. Na prática, todas as

teorias têm que conviver com resultados anômalos; isto é uma característica natural da ciência. Enganamos os alunos quando fingimos que os tipos de experimentos que eles desenvolvem em classe constituem em meios seguros de escolher entre teorias rivais. Como os experimentos são concebidos, projetados e executados dentro de uma determinada matriz teórica, considerável julgamento está envolvido na avaliação do significado de evidências aparentemente falsificadoras. O teste experimental de teorias não é, portanto, um passo simples e infalível, mas um processo de tomada de decisões que abrange muitos passos, monitorados e validados pela comunidade. A rejeição decisiva de uma teoria (ciência revolucionária) é um evento um tanto raro na ciência, e deve ser estudado por outros métodos - estudos de casos, por exemplo. Nas ciências escolares, a maioria dos experimentos ditos cruciais são testes de aplicações menos importantes ou específicas de uma teoria, e não testes dos princípios fundamentais da própria teoria.

Há um paradoxo intrigante com o qual os alunos deverão se confrontar: as decisões sobre a aceitabilidade das teorias são tomadas à luz de observações obtidas experimentalmente; e as decisões sobre a legitimidade dos projetos experimentais e do *status* das observações são tomadas à luz das teorias. Quando a teoria e as evidências determinadas experimentalmente entram em conflito, nada na lógica na situação requer que a teoria seja o ponto a ser rejeitado. A rejeição da evidência observacional com base na teoria é uma parte crucial da pesquisa científica. Os alunos podem ser levados a uma apreciação de algumas destas complexidades através do engajamento em projetos experimentais – um aspecto infelizmente negligenciado no ensino de ciências (Welch *et al.*, 1981). Ao fazê-lo, os alunos rapidamente percebem que o experimentador deve ter alguma idéia acerca do alcance dos possíveis resultados. Somente se pode projetar experimentos para observar o que foi previsto. Por exemplo, simplesmente não é possível projetar equipamentos para detectar alguma coisa sobre a qual não se tenha especulado antes. Como consequência, um experimentador somente pode detectar certas entidades, pode nunca conceber a possibilidade de detectar outras, pode deixar de reconhecer ou apreciar o significado do que não foi previsto, e pode assumir que as anomalias são devidas a erros experimentais ou ao azar. Se é assim com cientistas experientes, por que não seria ainda em maior grau com estudantes sem a riqueza de idéias e sem a experiência na qual se basear?

Tais experimentos conduzem naturalmente a uma discussão das maneiras pelas quais nossa aceitação de uma teoria particular evita com que façamos observações que poderiam refutá-la. Os cientistas que aceitam uma estrutura teórica particular podem achar difícil reconhecer deficiências em tal estrutura, pois os vieses teóricos os impedem de enxergar as falhas da teoria, e os impede de obter, ou mesmo de buscar, evidências contrárias apropriadas. De acordo com Feyerabend (1975), o sucesso de uma teoria em explicar os fatos é garantido, pois a teoria cria a própria evidência que a sustenta e exclui os fatos que poderiam refutá-la. Frequentemente é necessária uma nova teoria para mostrar os erros da anterior, provendo uma perspectiva alternativa e uma evidência observacional também alternativa. A nova teoria pode ser apoiada por um teste que sequer era possível no contexto de sua predecessora, e a teoria anterior pode ser rejeitada com base em um teste observacional que seria totalmente inconcebível dentro da estrutura conceitual da antiga teoria. Assim, às vezes pode ser necessário introduzir teorias que sejam inconsistentes com a teoria e os fatos existentes – isto é, para proceder contra-indutivamente. Quer se aceite ou não a afirmação de Feyerabend, está claro que a correspondência com os “fatos” reunidos experimentalmente não necessariamente propicia qualquer aumento no *status* de verdade de uma teoria: isso significa apenas que ela pode ser verdadeira. No entanto, pode haver uma teoria alternativa que também esteja de acordo com os fatos (Quine 1970).

A tendência dos currículos escolares em reduzir os experimentos a um simples papel indutivista, ou a um papel crucial popperiano, deixa de reconhecer e desenvolver a idéia de que a experimentação é uma parte da construção de teorias e, assim, também omite que os tipos de experimentos empregados em qualquer estágio dependem do nível da sofisticação teórica já alcançado. Quanto mais desenvolvido o campo, tanto mais provável é que os experimentos sejam dirigidos pela teoria, no sentido de que a especulação teórica representa o ponto de partida para a experimentação. No entanto, é absurdo sugerir que tal especulação sempre preceda o experimento. Em campos menos desenvolvidos, o mais provável é que os pesquisadores se dediquem a observações pré-teóricas, ou seja, a observações que estimulem a conceituação. Assim, a afirmação de Liebig de que “um experimento não precedido de uma teoria... guarda a mesma relação com a pesquisa científica que o chocalho de uma criança com a música” pode ser interpretada em um sentido “forte” ou “fraco” (Hacking 1983). Claramente, em alguma medida deve-se haver pensado sobre o experimento e o aparato – uma investigação completamente desprovida de idéias prévias não é uma investigação! No entanto, nem sempre é necessário ter-se uma hipótese clara para testar. É absolutamente legítimo conduzir um experimento “apenas para ver o que acontece”. O trabalho experimental não pode existir independentemente de qualquer teoria; no mínimo, ele depende de teorias de observação e instrumentação. Mas ele continua mesmo que nem sempre haja uma hipótese específica sendo testada. Nem as hipóteses precisam ser sempre formuladas precisamente. É perfeitamente legítimo procurar simplesmente a confirmação (ou não) de uma hipótese tão vaga quanto “x pode ter algum efeito”. A história da ciência fornece muitos exemplos de experimentos que são guiados por teorias apenas neste sentido “fraco”, experimentos que são pré-teóricos no sentido de que são tentativas de se estabelecer conceitos e estimular o desenvolvimento teórico. Além disso, há exemplos de linhas de experimentação e desenvolvimento teórico anteriormente muito separadas, que de repente apóiam-se mutuamente, e casos de experimentos projetados para propiciar evidência em favor de uma teoria, e que acabam fornecendo evidência para outra. De fato, Einstein citou experimentos desenvolvidos 50 anos antes como evidências cruciais para sua teoria da relatividade.

Em vista dessas considerações, pode ser mais sensato para os professores de ciência encorajar os alunos a considerarem a teoria e o experimento como tendo um relacionamento interativo e de interdependência: os experimentos auxiliam a construção da teoria; e a teoria, em troca, determina os tipos de experimentos que podem e devem ser conduzidos. Na elaboração de uma teoria, a experimentação tem dois significados. Primeiro, o de testar a adequação empírica da teoria em desenvolvimento e prover evidências retrospectivas para as proposições teóricas. Segundo, o de guiar o desenvolvimento contínuo da teoria na direção da coerência e da completude. Por exemplo, os experimentos auxiliam o refinamento dos conceitos e a quantificação das relações conceituais, e estabelecem os limites da aplicabilidade da teoria. Assim, o experimento é visto como parte integral do processo de tomada de decisões para a construção da teoria. Por sua vez, a teoria também tem um duplo papel na experimentação. Primeiro, na geração de questões a serem investigadas e de problemas que requerem elucidação e explicação teóricas. Segundo, como um guia no projeto preciso de experimentos que respondam a tais questões e resolvam tais problemas (pode haver outras teorias envolvidas, também). Esta visão holística e interativa da relação experimento-teoria fornece um modelo frutífero para o desenvolvimento de conceitos pelos indivíduos (um ponto a ser discutido mais adiante).

A cronologia real do experimento e da teoria é freqüentemente reescrita pelos livros-texto. Isto ajuda a sustentar o mito de que o caminho da ciência é determinado, e designa um papel simples e definido para o experimento, ajudando desse modo a perpetuar outros mitos acerca dos experimentos. Parte da aprendizagem sobre a ciência deveria envolver a leitura de

relatos reais de experimentos, em vez da mais comumente utilizada descrição e justificação de ações *post hoc*, as quais reinterpretem os motivos do experimentador e idealizam os eventos de tomada de decisões em termos das teorias aceitas atualmente.

Até aqui, as razões para realizar experimentos foram discutidas unicamente em termos de sua relação lógica com assuntos teóricos e conceituais. Não se deve desprezar, no entanto, que também há um componente sociológico. As decisões sobre *o que* investigar devem ser inspiradas tanto por considerações econômicas e sociais quanto por “problemas” teóricos. As decisões sobre *como* investigar e como comunicar as descobertas também podem ser conduzidas por fatos “externos à ciência”. Assim, os experimentos são determinados socialmente, tanto quanto teoricamente. Knorr-Cetina (1983) descreve a investigação científica como *construtiva*, mais do que *descritiva*, no sentido de que tudo na experiência de laboratório – os materiais, os aparatos, as teorias, os procedimentos, as publicações – são construtos humanos, influenciados pelos valores e aspirações coletivos da comunidade dos cientistas. Assim, em princípio, todas elas poderiam ser diferentes. Esta interpretação da ciência ainda não produziu um impacto no currículo escolar, e a noção de um forte componente sociológico na condução dos experimentos é estranha à maioria dos professores. Não será fácil produzir uma mudança de paradigma desta magnitude, mas pode-se começar lendo estudos contemporâneos acerca da prática científica, tais como os de Barnes (1985), Collins (1985) e Lynch (1985), convenientemente adaptados ao uso escolar.

Knorr-Cetina (1983) prossegue afirmando que os produtos da ciência não são apenas “impregnados de decisões”, mas também “impregnadores de decisões”, no sentido de que eles “apontam para novos problemas e preconcebem suas soluções”. As decisões prévias tomadas pela comunidade científica determinam – até certo ponto – as escolhas que agora são possíveis. E as escolhas feitas agora irão influenciar, ou mesmo determinar, as decisões futuras. As decisões devem ser tomadas a cada estágio do empreendimento científico. Cientistas, sozinhos ou em grupos, decidem o que é um problema, onde olhar, o que ignorar, e o que vale como solução. Tudo isso depende das teorias, e é influenciado pela experiência, crenças e posição na hierarquia social de cada um. As decisões sobre escolhas de equipamentos e método experimental podem ser influenciadas por convenções correntes ou pela disponibilidade de fundos, e assim não são inteiramente “objetivas”, no sentido tradicional. Quando o trabalho for completado, o autor escolhe a revista (e, conseqüentemente, seus árbitros, público e política) que proporcione o clima teórico e sociológico para a tomada de decisões mais favorável à sua aceitação.

A extensão com que as decisões da comunidade são governadas por princípios racionais, e a extensão com que elas são irracionais é, logicamente, um motivo de debate. Kuhn (1970) admite que as razões pelas quais alguns pesquisadores trocam sua fidelidade de um paradigma para outro não podem ser sempre vistas como sendo inteiramente racionais, mesmo em retrospecto. Essa visão não aparece nos currículos de ciências. Ao contrário, a história da ciência é freqüentemente reescrita ou reconstruída nos livros escolares, para parecer inteiramente racional. A versão da ciência que geralmente se apresenta implica em certeza e inevitabilidade lógicas: as teorias emergem naturalmente a partir da experimentação rigorosa. Nas poucas ocasiões em que se admite que os aspectos criativos da geração de hipóteses às vezes são um tanto imprevisíveis, sempre se afirma que a hipótese – uma vez produzida – está sujeita a testes rigorosos e a uma avaliação racional através de procedimentos bem caracterizados. A este respeito, os mais recentes currículos escolares adotam a distinção popperiana entre o contexto (freqüentemente) não lógico da geração de hipóteses e o contexto (sempre) estritamente lógico do teste das hipóteses. Todavia, há os que negam esta distinção e afirmam que os processos da validação e aceitação do conhecimento

científico não são mais “lógicos” do que outros procedimentos de tomada de decisões na ciência. Knorr-Cetina (1983) descreve como a comunidade científica considera o “contexto da descoberta” – em particular, *quem* fez a pesquisa e quão bem os resultados se relacionam com as prioridades correntes da comunidade. Além disso, já que o conhecimento provavelmente será usado por outros em pesquisas posteriores, ou está em competição direta com essas pesquisas, há um interesse intrínseco em que certos resultados sejam aceitos e outros, rejeitados. Assim, os validadores freqüentemente têm um interesse crucial no trabalho que avaliam. Eles podem até estar competindo pela “liderança teórica” ou por escassos financiamentos para pesquisa.

Experimentos no Ensino de Ciências

A figura 1 serve para nos lembrar de que nem todo trabalho prático na ciência escolar é trabalho de laboratório, e que nem todo trabalho de laboratório pode ser classificado como experimento. A questão que deve surgir neste ponto é se *algum* trabalho de laboratório na escola pode ser classificado como “experimento”, nos sentidos discutidos na seção anterior. Desde a revolução curricular da década de 1960 e do início dos anos 1970, os professores admitiram que os estudantes conduzem os experimentos, observam, fazem interferências e resolvem problemas da mesma forma que os cientistas, e pelos mesmos motivos. Esta noção requer uma análise crítica. É preciso considerar com muito cuidado se os experimentos que os alunos fazem na escola se assemelham de alguma forma com aqueles que os cientistas desenvolvem em seus laboratórios de pesquisa, e se os objetivos do professor, ao promover o assim chamado trabalho experimental como uma experiência de aprendizado, se assemelha ao trabalho do cientista ao conduzir uma pesquisa. Existem mesmo diferenças cruciais entre os experimentos na ciência e os experimentos no ensino de ciências?

Neste ponto, seria apropriado discutir a importância, para o projeto de currículos de ciências, da distinção feita por Kuhn (1970) entre ciência normal e ciência revolucionária. Os alunos na escola estão lidando – essencialmente – com ciência normal. Isto é, eles estão trabalhando dentro de um paradigma particular, seguramente até aonde se referem as atividades de laboratório. Apenas ocasionalmente se lidam com mudanças de paradigma na ciência escolar – e nesses casos o veículo didático mais apropriado bem pode ser o estudo de casos históricos, em vez do trabalho em laboratório. No entanto, os cientistas engajados na ciência normal (estendendo e desenvolvendo o paradigma) trabalham com um grau de familiaridade com o paradigma que não existe entre os alunos envolvidos com atividades similares na escola. A este respeito, existe uma diferença fundamental entre as “circunstâncias cognitivas” dos experimentos conduzidos na ciência e dos realizados na escola. Embora uma distinção sempre haverá entre as circunstâncias cognitivas de um pesquisador e de um aprendiz – simplesmente porque os estudantes nunca poderão ter esperanças de possuir a sofisticação teórica ou a riqueza da experiência de um cientista atuante – isso pode ser minimizado muito significativamente: a diferença pode ser reduzida para uma questão de grau e não de princípio, pela introdução de experiências de aprendizagem orientadas para a teoria. Na prática, a diferença freqüentemente é exacerbada pela adoção, muito difundida, da aprendizagem por descoberta e das “abordagens do processo” epistemologicamente absurdas e pedagogicamente inapropriadas, as quais deliberadamente evitam dar ao aprendiz um conhecimento teórico prévio do contexto do experimento (Hodson 1987).

Enquanto os experimentos na ciência são conduzidos principalmente com o objetivo de desenvolver teorias, os experimentos no ensino de ciências têm uma série de funções pedagógicas. Eles são usados pelos professores como parte de seu programa planejado para

ensinar ciências, ensinar sobre a ciência, e ensinar como fazer ciência. Estas funções pedagógicas podem, em certas ocasiões, resultar em problemas muito significativos. Por exemplo, muitos experimentos em classe não “funcionam”, ou dão resultados inesperados. Ainda assim se sugere que os alunos aceitem uma teoria com a qual esses experimentos manifestamente não estão de acordo, atribuindo-se quaisquer anomalias a técnicas inadequadas ou à falta de sorte. Isto ocorre porque a função pedagógica de muitos “experimentos” no ensino da ciência é ilustrar um ponto de vista teórico em particular, ao passo que na ciência o propósito é auxiliar o desenvolvimento de teorias. A intenção de promover uma visão particular, enquanto se mantém uma fachada de investigação aberta, cria enormes dificuldades e é a principal responsável pelas visões distorcidas que os alunos têm a respeito dos experimentos e da metodologia científica. Este tipo de redescoberta encenada, ainda muito comum nas escolas, é cercado de todos os tipos de problemas teóricos e práticos (Atkinson e Delamont 1976, Driver 1975, Hodson 1987). Ele deveria ser abandonado sem demora, e substituído por métodos orientados por teorias.

Além disso, pode haver outras funções pedagógicas que são apenas indiretamente relacionadas a estes três objetivos. Por exemplo, experimentos para estimular a confiança e a auto-estima dos alunos. Experimentos que demonstrem o poder de previsão do entendimento teórico ainda em desenvolvimento dos alunos irão, certamente, ensinar-lhes algo sobre a natureza do conhecimento científico, e assim terão valor no ensino sobre a ciência. Contudo, o objetivo principal de tais experimentos pode ser mostrar às crianças que *elas* podem manipular e controlar eventos, ou mostrar que *elas* podem investigar e solucionar problemas – ou no mínimo tentar! Pode-se argumentar a respeito de se engajar os alunos no trabalho de laboratório como uma maneira de expressar sua individualidade, ou simplesmente fazer o que lhes agrada e interessa. Reid e Hodson (1987) discutiram, em profundidade, que o currículo de ciências deve ser um veículo fundamental para o desenvolvimento de habilidades sociais e pessoais, e para o fortalecimento da auto-estima, através de uma estrutura e organização curriculares que *priorizem o afetivo*. Todavia, o que quer que seja característico dos experimentos (na ciência), isso pode estar ausente desses tipos de atividades. Por exemplo, o trabalho de laboratório usado no início de uma lição como estímulo – para motivar, despertar interesse e focar a atenção, para demonstrar uma técnica a ser usada mais tarde pelos próprios alunos, para surpreender, para despertar questões a serem investigadas posteriormente, para aumentar o alcance da experiência da criança, e assim por diante – tem que ser considerado como “não experimental”. Nenhuma dessas atividades está diretamente relacionada ao desenvolvimento ou teste de teorias, como os experimentos reais. Analogamente, sessões de treinamento de habilidades não podem ser consideradas experimentos, apesar de ser completamente possível, é claro, que os professores adotem uma abordagem na qual os aprendizes devam adquirir habilidades enquanto envolvidos na investigação científica.

Parece que quanto mais os professores se afastam dos três objetivos mais importantes do trabalho prático, mais o trabalho em laboratório diverge da experimentação verdadeira. Pode-se acrescentar que muitos das experiências didáticas que são mais bem sucedidas em atingir aqueles três objetivos são também não experimentais. De fato, muitas sequer são atividades de laboratório!

Estágio 1. Ensino de ciências pré-paradigmático (pré-científico)

Estabelecer o domínio da ciência (o que é e o que não é ciência), adquirir a “linguagem” da ciência e construir os pré-requisitos básicos para o estudo da ciência (que há ordem no universo; que tal ordem pode ser descrita; que os eventos têm causas; que os fenômenos podem ser explicados por teorias, etc.).

As atividades em classe devem se concentrar em coisas como aprender a fazer observações e formular as perguntas apropriadas, controlar variáveis, usar instrumentos e fazer medições, desenvolver habilidades de registro e comunicação.

Estágio 2 . Ensino de ciências dentro de um paradigma

Aprender a estrutura substantiva da ciência, adquirir e praticar as habilidades e procedimentos da ciência normal, usar as estruturas teóricas existentes para investigar fenômenos e resolver problemas.

As atividades em classe devem se concentrar na aquisição de novos conceitos, estabelecer relações entre conceitos, investigar a adequação empírica de teorias explicativas, gerar e testar hipóteses.

Estágio 3 . Ensino de ciência revolucionária

Estudar o crescimento e o desenvolvimento da ciência e a história das idéias científicas.

As atividades em classe devem incluir simulações em computador e estudos de casos históricos. Deve-se focalizar a atenção em assuntos socioeconômicos e no papel da comunidade científica na validação do conhecimento científico.

Figura 2. Um modelo de três estágios para o ensino de ciências.

Aprender sobre a ciência

As visões particulares sobre a natureza da ciência expressas pelos elaboradores de currículos influenciam profundamente os tipos de experimentos e de trabalhos de laboratório que são adotados. De acordo com a peculiar “posição filosófica” adotada, ênfases relativamente diferentes serão dadas a experimentos que tentam “provar” teorias, a experimentos que coletam dados a partir dos quais os alunos tentam induzir teorias, e a experimentos que tentam testar as previsões de uma teoria ou que tentam resolver uma disputa entre teorias. Além disso, a filosofia científica *implícita* do professor irá influenciar profundamente a maneira pela qual esses experimentos são apresentados para os alunos e descritas por eles.

Já foi discutido anteriormente que quase todos os currículos de ciências existentes projetam uma visão distorcida da natureza da metodologia científica, por causa da

inadequação no tratamento da complexidade da relação observação-experimento-teoria. O modelo mais sofisticado e epistemologicamente válido delineado na discussão precedente pode ser mais bem abordado ao se adotar um currículo de ciências de três estágios (veja a Figura 2 acima).

Está claro que o papel dos experimentos é diferente em cada estágio, e os alunos precisam estar cientes das distinções. Gerações de professores assumiram que o conhecimento da metodologia científica pode ser ensinado apenas através da experiência direta na bancada. No entanto, não está inteiramente claro se uma avaliação do papel dos experimentos nesses três estágios é melhor atingida fazendo-se tais tipos de experimentos no laboratório escolar. Daí não se segue necessariamente que fazer experimentos é a melhor maneira de aprender sobre eles. Diversos autores têm discutido o uso de estudos de casos históricos, e a leitura de artigos de pesquisa (modificados) e de biografias como meios alternativos – e muitas vezes superiores – de se apresentar aos alunos o papel dos experimentos (Brush 1974, Epstein 1970, Morgan 1981, Russell e Chiapetta 1981, Sherratt 1982, Tamir 1976, Wilson 1974). Nadeau e Desautels (1984) descrevem com alguns detalhes um exercício de “caixa preta” que simula tanto a experimentação científica quanto o comportamento da comunidade científica na validação do conhecimento. Atividades que envolvam diferentes estilos de redação científica podem ser eficientes para reforçar algumas dessas idéias (Hodson 1989).

O uso de simulações em computador é outra técnica muito eficiente em capacitar os alunos a se envolverem nos aspectos mais criativos da ciência, e que leva à compreensão da natureza da ciência. Na maioria das lições baseadas em laboratório, os alunos não têm oportunidade de se envolver com a geração e o teste de hipóteses, ou no planejamento experimental, pois os professores não estão dispostos a ceder o tempo, a arcar com os custos ou a correr o risco de os alunos adotarem estratégias experimentais inapropriadas, ineficientes ou potencialmente perigosas. Como conseqüência, os professores tendem a fazer todo o projeto experimental antes da aula, e os alunos simplesmente seguem as instruções. Com uma simulação em computador, projetos mal feitos podem ser postos em prática e quaisquer problemas podem ser descobertos pelos alunos e modificados, ou eliminados, com rapidez e segurança. Deste modo, os alunos aprendem com seus próprios erros e são levados a investigar de maneira mais completa e mais refletidamente. Ainda mais importante é que os alunos aprendem que projetar experimentos não é um trabalho especializado e difícil, praticado por especialistas vestidos de branco em laboratórios sofisticados. Qualquer um pode fazê-lo, inclusive eles mesmos! Os experimentos em classe, muito freqüentemente, são apresentados como *o único* caminho ou procedimento; as simulações em computador permitem que diferentes grupos de alunos desenvolvam diferentes procedimentos. Alguns irão funcionar bem, outros não tão bem, e outros não funcionarão. Isso é mais parecido com a ciência real. Existem pelo menos três sementes de aprendizagem semeadas em tais experiências. Primeiro, os alunos aprendem muito mais sobre os conceitos e fenômenos sob investigação, pois eles têm maior oportunidade de manipular idéias. Segundo, eles adquirem algumas das habilidades de raciocínio dos cientistas criativos. Terceiro, eles aprendem que a ciência é feita por pessoas que pensam, formulam palpites e tentam coisas que às vezes funcionam e às vezes falham. Por meio de tais experiências, podemos começar a desmitificar a ciência e torná-la acessível a todos.

Muitos professores irão dizer que o uso da CAL (aprendizagem auxiliada por computador) em vez do trabalho na bancada do laboratório iria distorcer a compreensão dos alunos a respeito da investigação científica – pois os cientistas de verdade vão à bancada, ou ao campo, para conduzir investigações. Vale destacar três aspectos em resposta a essa afirmação. Primeiro, muitos cientistas *não* vão à bancada! Cada vez mais, cientistas de muitas

áreas de pesquisa usam computadores como ferramentas para a construção de modelos e teorias. Segundo, as habilidades que os alunos adquirem ao usar simulações e bancos de dados são exatamente as habilidades necessárias à investigação científica criativa. Para ilustrar esse aspecto, é útil considerar a prática científica como um processo de quatro estágios: projetar experimentos; executar experimentos; interpretar os resultados experimentais; registrar e relatar descobertas e conclusões. A CAL permite que os aprendizes se concentrem na primeira, segunda e quarta fases, que são mais significativas, sem as distrações da terceira, que é muito menos significativa. Terceiro, argumentar que a CAL distorce a visão que os alunos têm da ciência é confundir fazer ciência com aprender ciência, e com aprender sobre a ciência; e também é confundir trabalho em laboratório / trabalho prático, e seu objetivo no ensino de ciências, com experimentos e seu objetivo na pesquisa científica.

Aprender ciência

Assim como as visões de ciência dos elaboradores de currículos e dos professores têm uma profunda influência tanto no conteúdo do currículo como na abordagem didática utilizada para ensinar os alunos sobre a ciência, também suas visões de aprendizagem irão afetar profundamente o tipo de experiências didáticas utilizadas; e, de maneira mais significativa para o contexto deste artigo, irão afetar também o papel atribuído ao trabalho em laboratório ao se ensinar o conhecimento científico. De alguns anos para cá, tem havido três abordagens principais para a aprendizagem em ciências: o modelo de *transmissão*, a aprendizagem *orientada para o processo*, ou *por descoberta*, e a abordagem *construtivista*. Cada abordagem abrange idéias significativamente diferentes acerca da natureza do conhecimento, do papel do aprendiz, e do mecanismo do processo de aprendizagem. Além disso, cada uma delas parece implicar em uma visão diferente da própria ciência.

A abordagem didática tradicional para a ciência na escola de nível médio – com sua ênfase na instrução formal e na apresentação escrita de informações, e com seu conteúdo de conhecimentos altamente sujeito a prescrição – coloca a criança como um receptor passivo do conhecimento acumulado. Poucas coisas podem ser afirmadas mais dogmaticamente do que a não eficiência deste método didático. Pior do que isso: ele é contraproducente, e é uma das principais causas do baixo rendimento escolar generalizado (Reid e Hodson 1987). Essencialmente, esse método didático interpreta mal tanto a natureza do conhecimento como a da aprendizagem, e faz julgamentos muito errados sobre o que é o comportamento real de um aluno. Por exemplo, ele assume que o conhecimento científico é uma mercadoria valiosa *per se*, e dá pouca importância – se é que dá alguma – para as percepções de valor *dos alunos*. Assume que o conhecimento científico é absoluto, não negociável e não problemático. Assume que o professor é a pessoa mais importante na sala de aula. De fato, é o professor que detém a posição central, tendo até cinquenta vezes mais espaço para se deslocar que os alunos (Sommer 1969), e é o professor que é a fonte de todo conhecimento e da autoridade, exercendo até dois terços de toda a fala na sala de aula (Reid 1980). Além disso, a abordagem dita certos padrões de comportamento em sala de aula que muitos alunos acham difíceis, senão impossíveis, de obedecer. Ou seja, uma atitude de passividade física e mental na qual as habilidades de sentar-se imóvel, prestar atenção, tomar notas e não ser exigente são as virtudes principais. Nessa abordagem, os experimentos e outros tipos de trabalho em laboratório são usados freqüentemente para dar sustentação a um modelo verificacionista de ciência.

A chamada “abordagem do processo” para a aprendizagem de ciências tem a grande virtude de requerer que os aprendizes sejam ativos, mas ignora a influência das idéias prévias dos alunos sobre como os processos são empregados e como as conclusões são tiradas. Assume que os processos da ciência são isentos de conteúdo, generalizáveis e transferíveis de um contexto para outro. Ao declarar a prioridade dos processos sobre os conceitos, implica em um modelo indutivista de ciência. A abordagem do aprendizado por descoberta, uma característica proeminente dos currículos de ciências desenvolvidos nas décadas de 1960 e 1970, analogamente é desabonada sob as perspectivas filosófica, psicológica e prática (Atkinson e Delamont 1976, Hodson 1987).

Em contraste, a abordagem construtivista para o ensino estabelece a prioridade do conhecimento prévio do aprendiz (Driver 1983, Driver e Bell 1986, Osborne e Freyberg 1985, Osborne e Wittrock 1985). Resultados de aprendizagem não dependem apenas do ambiente de ensino que o professor propicia, mas também do que o aprendiz já sabe. Aprender é um processo contínuo, no qual os aprendizes constroem e reconstróem os significados ativamente. Parece haver quatro passos principais nessa abordagem para o ensino:

- * Identificar as visões dos alunos.
- * Projetar os currículos que construam sobre essas visões.
- * Propiciar incentivos para que os alunos mudem suas visões.
- * Apoiar as tentativas dos alunos de repensar e reconstruir suas visões.

No passado, tendíamos a admitir que a maioria dos alunos não tinha conhecimento científico nenhum antes de iniciar um novo tópico e, para os poucos que o tinham, haveria pouca dificuldade em substituir sua visão (inadequada) pela nossa visão (superior). Nenhuma dessas duas suposições parece ser verdadeira. Os alunos possuem conhecimento científico, que com freqüência está em divergência com as visões dos cientistas, e eles freqüentemente relutam muito em desistir dele (Gilbert *et al.*, 1982, Osborne e Bell 1983). Existem evidências crescentes de que as duas visões (a do aluno e a do professor) podem coexistir, com os alunos usando a sua ciência na vida cotidiana e reproduzindo a ciência “oficial” quando solicitado, na escola. Se for este o caso, precisamos levar em conta uma visão diferente para ensinar e aprender ciência. Uma visão que seja baseada em desenvolver e modificar, e não em substituir, as idéias dos alunos. [Outro artigo] contém um sumário de uma série de mudanças no ensino, projetadas para possibilitar o desenvolvimento e a mudança conceitual nos alunos, que é solidário a este princípio (Hodson 1988a). Excelentes sumários das idéias teóricas que sustentam este e outros modelos similares de aprendizagem (por exemplo, Cogrove *et al.*, 1982) são dados por Hill *et al.* (1987) e por Osborne e Wittrock (1985). (Veja a Figura 3 a seguir).

Assim como a pesquisa científica que conduz ao desenvolvimento ou substituição de uma teoria começa de uma matriz teórica prévia, também as atividades que pretendem provocar desenvolvimento e mudança conceitual em indivíduos deveriam começar pelo conhecimento que o aluno já possui. Se for aceito que o objetivo da teoria é explicar e prever, então os alunos devem ser encorajados a explorar suas crenças já existentes para testar sua capacidade de explicação e previsão. Se suas idéias se mostrarem deficientes nessas capacidades, então se deve apresentar uma nova maneira de se olhar as coisas (um novo modelo ou teoria), como um meio para se precipitar uma revolução conceitual. O que fica claro é que os alunos precisam ter tempo e oportunidade suficientes para reconstruir sua compreensão por si mesmos, e para encontrar motivos para mudar suas visões. Hewson (1981) afirmou que um novo esquema conceitual será aceito se os aprendizes o acharem “plausível, inteligível e frutífero”. Na realidade, teorias sofisticadas da ciência *não* são

plausíveis *nem* inteligíveis até que se comece a explorá-las, utilizá-las e personalizá-las; e elas se tornam frutíferas apenas quando usadas para prever, explicar fenômenos e eventos, examinar outras proposições teóricas, etc. Assim, os experimentos e outros tipos de trabalho de bancada constituem-se em uma maneira singularmente poderosa de permitir o envolvimento nos tipos de atividades que fornecem (ainda que retrospectivamente) as condições de Hewson para a mudança conceitual. Vistos sob esta luz, os experimentos são o principal meio de auxiliar a “construção pessoal de uma teoria”, como Claxton (1984) descreve o desenvolvimento de conceitos. Embora os construtos pessoais sejam uma parte central da aprendizagem, o próprio conhecimento científico não é idiossincrático. A ciência é uma atividade coletiva e o conhecimento científico é aquilo que é aceito por todos (isto é, validado por um consenso). Daí o passo xiii da Figura 3.

- i. Tornar explícitas as idéias dos próprios alunos por meio da escrita, de discussões com os outros alunos e com o professor.
 - ii. Explorar as implicações de tais idéias.
 - iii. Comparar e testar as idéias com a experiência própria e com a experiência de outros.
 - iv. Criticar as idéias dos outros. Submeter as próprias idéias à crítica.
- * Neste ponto o professor deve desafiar o aluno a encontrar evidências e apoio para suas idéias. A interpretação crítica da evidência é a base para defender uma particular visão teórica na ciência.
- v. Usar idéias teóricas para explicar observações, fenômenos e eventos.
 - vi. Aplicar idéias teóricas a novas situações.
 - vii. Modificar e refinar as idéias para assegurar uma melhor correspondência com a “realidade”.
 - viii. Fazer previsões. Submeter as teorias e as previsões a testes, em busca de apoio, refutação e refinamento.
- * Neste ponto o professor deve dar início a atividades destinadas a promover uma mudança na compreensão.
- ix. Introduzir experiências que desafiem e contradigam as visões prévias dos alunos.
 - x. Encorajar a elaboração de estruturas conceituais e explicações alternativas por meio de atividades de proposição de idéias.
 - xi. Introduzir a estrutura explicativa “oficial” como uma das alternativas – se necessário.
 - xii. Explorar e testar todas as alternativas (repetir os passos i – viii).
 - xiii. Comparar, julgar e selecionar a alternativa que se mostre mais aceitável ao grupo (incluindo o professor), isto é, atingir um consenso – um passo-chave na prática da ciência.
- * Neste ponto o professor iniciaria um outro ciclo de mudança conceitual (isto é, dirija-se ao passo ix), ou mudaria para um novo tópico (isto é, dirija-se ao passo i).

Ao longo dessas atividades os alunos irão envolver-se em tarefas de registrar e relatar, usando tanto a linguagem “particular” da exploração e reflexão pessoal, como a linguagem “pública” da comunicação científica.

Figura 3. Estratégias de ensino/aprendizagem para o desenvolvimento conceitual.

Se aprender ciência refere-se a dar sentido ao mundo físico no qual vivemos, o primeiro passo nesse processo devem ser a familiarização com os fenômenos e eventos que serão compreendidos e explicados. O trabalho de bancada pode ser a única forma de experimentar, em primeira mão, a atração e a repulsão de um ímã ou o cheiro de um gás. A experiência direta de transformações químicas (como queimar magnésio), o manejo e o cuidado com organismos vivos, o uso de instrumentos que ampliam nossos sentidos (tais como telescópios e microscópios) são outros aspectos da familiarização com o mundo ao nosso redor que não podem ser adquiridos de outra forma. Então, a este respeito, o trabalho na bancada é crucial. Não é suficiente apenas ler sobre gases verdes e cristais azuis, sobre a curvatura da luz quando ela passa por um prisma, ou sobre campos elétricos criando campos magnéticos. Aprendizes precisam ver essas coisas, experimentar os fenômenos diretamente e manusear objetos reais por si próprios. Mas poucas dessas experiências práticas baseadas em laboratório são “experimentos”, nos sentidos discutidos anteriormente.

Se o desenvolvimento conceitual é auxiliado quando se encorajam os alunos a explorar, elaborar e testar suas idéias contra a experiência – tanto as “reais” quanto as “inventadas” pelo experimento científico – então o trabalho em laboratório e os experimentos de campo (que são guiados pela teoria e bem compreendidos pelos alunos) têm um papel crucial. Igualmente, diversos desses passos poderão, em certas ocasiões, ser abordados mais apropriadamente por outros tipos de métodos de aprendizagem ativa, particularmente pelo uso de simulações em computador e bancos de dados científicos. O uso das simulações em computador, ao contrário dos experimentos reais, permite que o professor adapte a experiência didática precisamente aos objetivos de ensino/aprendizagem, em vez de ter que ajustar os objetivos da aprendizagem às complexidades da realidade – uma situação muito comum. Pode-se diminuir ou aumentar o nível de complexidade, incluir ou excluir certas características, adotar “condições idealizadas”, e geralmente criar uma situação experimental que permita que os aprendizes se concentrem nos conceitos centrais, sem as distrações, irregularidades dos materiais e “ruídos pedagógicos” tão característicos dos experimentos com objetos reais. Em muitos casos, os verdadeiros ganhos em aprendizagem estão associados aos fatos de se pensar sobre as idéias, experimentar meios de conduzir a investigação e interpretar os resultados. A efetiva execução do experimento contribui muito pouco. Em alguns casos, por causa do excesso de ruídos pedagógicos, o experimento serve apenas para distrair; em outros casos, como os procedimentos são extensos, tediosos e desinteressantes, ele serve para alienar os alunos. As simulações em computador permitem que os professores coloquem ênfase nos principais objetivos de aprendizagem da aula, e “congelem”, repitam ou modifiquem um experimento de modo rápido e fácil, para esclarecer ou desenvolver um assunto.

O objetivo dos experimentos nas ciências escolares (diferente da ciência em si) não é ajudar o concreto a se tornar abstrato, como os professores geralmente afirmam. Na verdade, o objetivo é dar ilustração e representação concretas a abstrações prévias. Assim, o trabalho em laboratório na escola deveria ser usado para ajudar na exploração e manipulação de conceitos, e torná-los explícitos, compreensíveis e úteis. É a exploração das idéias que constitui o processo de aprendizagem; o experimento apenas fornece a evidência concreta para explorações conceituais posteriores. Eliminando as experiências concretas, e fornecendo retorno imediato a respeito da adequação de certas especulações e previsões (na forma de “resultados experimentais”), as simulações em computador e os bancos de dados permitem que os aprendizes invistam consideravelmente mais tempo manipulando idéias abstratas como forma de construir a compreensão.

É óbvio que não se pode executar trabalho de laboratório sem considerar as questões conceituais importantes. A menos, é claro, que se pretenda apenas “divertir” os alunos, ou desenvolver apenas habilidades manipulativas. Por outro lado, pode-se considerar as relações conceituais relevantes para os procedimentos experimentais sem realmente executar o experimento no sentido convencional. Pode ser que a situação concreta de experimentos reais sirva, em certas ocasiões, para distrair o aprendiz dos aspectos teóricos importantes do problema, e para inibir o pensamento criativo. Nos famosos problemas de conservação propostos por Piaget, por exemplo, as experiências concretas pareciam obstruir o entendimento: os que *não* estavam sujeitos à demonstração de se transferir o líquido entre béqueres de formatos diferentes foram mais capazes de julgar as quantidades (Bruner *et al.*, 1966). Parece que, às vezes, as situações concretas constituem um ruído pedagógico que inibe a compreensão (Kreitler e Kreitler 1974, Yager *et al.*, 1969). Se estes argumentos forem aceitos, segue-se que as técnicas de ensino que envolvem simulações em computador e bancos de dados – e quaisquer outros métodos que permitam que a atenção fique focada em questões conceituais abstratas, sem a distração com o ruído pedagógico das situações concretas – são mais apropriadas à promoção de aspectos da criatividade científica tais como a elaboração de hipóteses e o desenvolvimento de um projeto experimental (Hodson 1988b, c). Talvez essas técnicas tenham um papel similar no ensino de ciências àquele dos “experimentos mentais” na ciência. O papel crucial de tais experimentos na construção de teorias científicas é discutido com alguma profundidade por Hacking (1983).

Fazer ciência

O terceiro grande objetivo de aprendizagem, no que diz respeito ao trabalho prático, é *fazer* ciência. Aqui a ênfase não está em aprender sobre os métodos da ciência, ou mesmo em desenvolver perícia nos seus processos individuais, mas em *usar* os métodos e processos da ciência para investigar fenômenos, solucionar problemas, e dar seguimento aos interesses que os alunos escolheram, talvez em negociação com o professor. Em qualquer curso de ciência deveria haver oportunidades para os alunos se envolver nesse tipo de trabalho criativo de investigação. É aqui que os alunos chegam mais perto de fazer ciência de verdade e, assim, esse trabalho deveria ser considerado o pináculo da educação científica.

À primeira vista, poderia parecer que interpretar a educação científica como “fazer ciência” não seria problemático. Colocado de modo simples, parece ser evidente que os alunos aprendem a fazer ciência fazendo ciência – e assim a tomada de decisões quanto ao currículo se reduz a responder questões acerca da quantidade de escolhas a serem apresentadas aos aprendizes, e a questões gerenciais variadas, tais como tempo, custo de materiais e oferecimento de infra-estrutura. No entanto, se considerarmos o que constitui fazer ciência *efetivamente*, veremos que existem certos pré-requisitos:

- * Existência de uma base conceitual apropriada.
- * Habilidade para executar certas operações de laboratório de maneira satisfatória.
- * Talento experimental.

Como conseqüência, fazer ciência não pode ser considerado como algo não problemático. Talento experimental é difícil de definir. Ele parece incluir pelo menos dois fatores distintos.

- (i) A habilidade de projetar experimentos “poderosos” que testem ou ilustrem uma teoria de forma elegante.

no começo. Uma interpretação alternativa é em termos de resolução de problemas; uma discussão a esse respeito pode ser encontrada em outro artigo (Hodson 1989).

Conclusão

O que se discute neste artigo é que muito do que ocorre muito em nossas aulas de ciências, sob o nome de trabalho prático, é confuso e sem valor educacional real – em grande parte porque os professores não reconhecem as diferenças básicas entre o papel dos experimentos em *ciência* e no *ensino de ciências*. O trabalho prático, do modo como é atualmente concebido por professores de ciências, deveria ser substituído pela noção mais ampla de *atividades de aprendizagem de ciências*, estabelecendo-se assim uma distinção entre trabalho prático (isto é, métodos ativos de aprendizagem) e trabalho de laboratório, e entre trabalho de laboratório e experimentos (figura 1). É importante que os professores identifiquem, muito mais claramente do que no passado, os objetivos de cada aula em particular – em termos de objetivos individuais relacionados a aprender ciência, aprender sobre a ciência e fazer ciência – e selecionar métodos ativos de aprendizagem, inclusive trabalhos de laboratório, apropriados a esses objetivos individuais.

No que diz respeito a *aprender sobre a ciência*, é imperativo que a tradicional noção indutivista – de que os experimentos são confrontos de olhos e mentes abertas com a Natureza, como um meio para adquirir conhecimento objetivo, isento e certo sobre o mundo – seja descartada. A interpretação simplista da noção popperiana, de que os experimentos fornecem testes cruciais acerca da adequação empírica de uma teoria, também deve ser substituída por uma visão mais multifuncional dos experimentos e por uma visão mais sofisticada da relação entre observação, teoria e experimento.

No que diz respeito a *aprender ciência*, parece haver fortes argumentos em favor de se construir um currículo de acordo com a linha kuhniana. O desenvolvimento conceitual em indivíduos pode ser descrito em termos similares aos empregados por Kuhn para descrever a mudança conceitual nas comunidades científicas (revoluções científicas). Assim como a elaboração bem sucedida de novos conhecimentos científicos através da pesquisa científica se inicia a partir de uma matriz teórica (paradigma) existente, também a aprendizagem de novos conceitos científicos se inicia a partir da compreensão de conceitos científicos que o aluno já possui.

BIBLIOGRAFIA

- Atkinson, P. e Delamont, S. 1976. Mock-ups and cock-ups: The stage-management of guided discovery instruction, 133 - 142. Em *The process of schooling. A sociological reader*. Eds. M. Hammersley, e P. Woods. London: Routledge and Kegan Paul, Open University.
- Barnes, B. 1985. *About Science*. Oxford: Basil Blackwell.
- Bruner, J.S. Oliver, R.R. e Greenfield, P.M. 1966. *Studies in cognitive growth*. New York: John Wiley.
- Brush, S.G. 1974. Should the history of science be rated x? *Science* (18): 1164-1172.
- Claxton, G. 1984. *Live and learn*. London: Harper e Row.
- Collins, H.M. 1985. *Changing order*. London: Sage.

- Cosgrove, M., Osborne, R. e Tasker, R. 1982. *Toward generative learning*. Working Paper No. 205. S.E.R.U., University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- Driver, R. 1975. The name of the game. *School Science Review* (56): 800-805.
- Driver, R. 1983. *The pupil as scientist?* Open University Press, Milton Keynes.
- Driver, R. e Bell, B. 1986. "Students" thinking and the learning of science: A constructivist view. *School Science Review*. (67): 443-456.
- Epstein, H.T. 1970. *A strategy for education*. Oxford: Oxford University Press.
- Feyerabend, P.K. 1975. *Against method*. London: New Left Books.
- Gilbert, J.K., Osborne, R.J. e Frensham, P.J. 1982. Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*. (66): 623-633.
- Hacking, I. 1983. *Representing and intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hewson, P. 1981. A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education* (3): 383-396.
- Hill, D., Boylan, C. Francis, R. e Bailey, J. 1987. A guide to a better practice. *The Australian Science Teachers Journal* (33): 44-51.
- Hodson, D. 1985. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education* (12): 25-57.
- Hodson, D. 1986a. The nature of scientific observation. *School Science review*. (68): 17-29.
- Hodson, D. 1986b. Rethinking the role and status of observation in science education. *Journal of Curriculum Studies* (18): 381-396.
- Reid, D.J. 1980. Spatial involvement and teacher - pupil interactional patterns in school biology laboratories. *Educational Studies*. (6): 31-41.
- Reid, D.J. e Hodson, D. 1987. *Science for all: Teaching science in secondary schools*. London: Cassell.
- Russell, J.M. e Chiappetta, E.L. 1981. The effects of a problem-solving strategy on the achievement of earth science students. *Journal of Research in Science Teaching*. (18): 80-84.
- Sherratt, W.J. 1982. History of science in the science curriculum: An historical perspective. *School Science Review*. (64): 225-236.
- Shulman, L.S. e Tamir, P. 1973. Research on teaching in the natural sciences, 1098-1148. *In Second handbook of research on teaching*. Rand McNally, Ed. R. Travers. Chicago.
- Solomon, J. 1980. *Teaching children in the laboratory*. London: Croom Helm.
- Sommer, R. 1969. *Personal space: The behavioral basis of design*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Tamir, P. 1976. *The role of the laboratory in science teaching*. Technical Report No. 10. Science Education Center, University of Iowa.
- Tamir, P. e Amir, R. 1987. Inter-relationship among laboratory process skills in biology. *Journal of Research in Science Teaching*. (24): 137-143.
- Vasilakes, W.S. 1967. Problems with scientific method. *School Science and Mathematics*. (67): 491-502.
- Welch, W.W., Klopfer, L.E., Aikenhead, G.S. e Robinson, J.T. 1981. The role of inquiry in science education: Analysis and recommendations. *Science Education*. (65): 33-50.
- Wilson, J.T. 1974. Processes of scientific inquiry: A model for teaching and learning science. *Science Education*. (58): 127-133.
- Yager, R.E, Englen, H.B. e Snider, B.C.F. 1969. Effects of laboratory and demonstration methods upon the outcomes of instruction in secondary biology. *Journal of Research in Science Teaching* (6): 76-86.