

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS: UMA PERSPECTIVA KUHNIANA

Arden Zylbersztajn

(Departamento de Física-UFSC, 88040-900 Florianópolis SC, <arden@fsc.ufsc.br>)

A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NO ENSINO DE FÍSICA*

É bem conhecida a dificuldade que alunos das disciplinas de física geral dos cursos universitários apresentam quando são solicitados a resolver problemas, sendo comum ouvir-se dos mesmos a observação de que, apesar de terem estudado a teoria, não conseguem solucionar os problemas do final do capítulo correspondente, ou aqueles da lista apresentada pelo professor. Ou ainda que, mesmo tendo entendido as resoluções apresentadas pelo professor em sala de aula, não conseguem transferir esta compreensão para as provas.

Estes problemas, conhecidos como do tipo “lápiz e papel”, ocupam posição privilegiada no ensino universitário de física, e o fracasso nas situações de avaliação (em geral provas escritas, consistindo principalmente de problemas) é manifestado nos altos índices de reprovação e evasão, principalmente no ciclo básico. A situação, além de frustrante e desmotivadora para os estudantes (como também para os docentes) apresenta ainda reflexos negativos do ponto de vista da eficiência institucional.

O fracasso na resolução de problemas é, de há muito, conhecido por professores e pesquisadores em ensino de física e, apesar de ser um dos temas mais investigados na área, pouco tem-se conseguido avançar no sentido de reverter a situação acima descrita. As explicações para este estado de coisas podem ir desde uma compreensão equivocada por parte de professores, e mesmo de pesquisadores em ensino, a respeito do papel dos problemas de lápis e papel na aprendizagem da disciplina, até a relutância de professores em admitir as suas deficiências metodológicas.

Discutir o que são problemas, e qual é o seu papel no ensino de física, pode ser bastante complicado o que remete à necessidade de delimitar o tipo de problema e o contexto de que tratará este artigo. Para muitos autores, uma situação é concebida como um problema somente quando não existam procedimentos de tipo automático que possibilitem solucioná-la de forma mais ou menos imediata, requerendo um processo de reflexão ou tomada de decisões (Echeverría y Pozo Múncio 1994).

A definição acima tem um caráter geral e pode envolver uma extensa gama de situações e habilidades tais como: o planejamento de um módulo de ensino (problema para alunos da disciplina Prática de Ensino de Física), a elaboração de um ensaio (problema para um aluno de uma disciplina ligada à história da física), a proposta de um procedimento para a medida de uma grandeza física (problema para um aluno de disciplina de caráter experimental), a resolução de um problema do final de um capítulo do livro-texto (em uma disciplina teórica).

**Comunicação apresentada no VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. SBF/UFSC, Florianópolis, 26-20 outubro 1998 (Atas do VI EPEF, CD-rom)*

A esta diversidade de situações deve-se considerar um complicador adicional que é o fato de que o que é problema para alguns, pode não o ser para outros. Assim, de acordo com a definição ampla, o “problema” no final de um capítulo pode ser bastante problemático para um aluno e não o ser para o professor, ou mesmo para outro aluno.

Por outro lado, podemos adotar uma conceituação limitada de PROBLEMAS, para nos referirmos àquelas situações que aparecem nos finais dos capítulos dos livros textos, ou listas de professores, e que envolvem respostas através da aplicação/combinção de definições, leis, princípios e métodos matemáticos.

No final dos capítulos de alguns livros aparecem também situações intituladas EXERCÍCIOS que, em geral, envolvem a aplicação direta de uma fórmula ou algoritmo. Existe uma zona cinzenta na qual problemas e exercícios se confundem, ainda mais quando consideramos que o que é exercício para alguém pode ser problema para outrem. Talvez, por isso, o texto bastante conhecido de Tipler, que antes trazia exercícios e problemas, em sua mais recente edição brasileira só tem problemas, divididos em níveis de dificuldade. Por sua vez, o igualmente conhecido Halliday-Resnick mistura exercícios e problemas. Já, o texto de Feynman é acompanhado de um “Livro de Exercícios”, que na verdade são problemas!

Não é objetivo da presente comunicação aprofundar esta questão semântica. Adotando uma postura pragmática irei considerar como problemas aquilo que os livros-texto chamam de PROBLEMAS e que os professores de física consideram como tal, e que são conhecidos na literatura como problemas de “lápiz e papel”. Ainda que possa haver alguma discordância em casos limites, parece existir um razoável consenso a respeito da distinção entre problemas e exercícios: calcular o peso de um corpo, dadas a sua massa e a aceleração da gravidade, é visto pela maioria dos professores universitários de física como um exercício; já obter o tempo levado para um corpo descer um plano inclinado com atrito é considerado pela mesma maioria como um problema.

Nesta comunicação o tema resolução de problemas será discutido no contexto do ensino universitário, ou seja da preparação para o exercício profissional na área de física, quer seja no bacharelado ou licenciatura. No entanto, boa parte das conclusões são igualmente aplicáveis para disciplinas, de caráter semelhante, ministradas pelos departamentos de física para outros cursos, principalmente na área de engenharia.

Os problemas, segundo o recorte aqui adotado, cumprem uma função prática importante, visto que são os instrumentos de avaliação mais utilizados, determinando quem passa e quem fica reprovado. Desta forma, se constituem no principal fator de sucesso ou fracasso no curso, fazendo parte da tradição do que é ensinar e aprender física.

Por outro lado os professores não parecem ver a resolução de problemas como algo a ser ensinado e aprendido, raramente considerando os problemas de forma didática:

“Infelizmente, a didática usual da resolução de problemas sofre de sérias insuficiências. Particularmente na área de ensino da física, objeto das considerações deste trabalho, o que se verifica é que o professor, ao exemplificar a resolução de problemas, promove uma resolução linear, explicando a situação em questão ‘como algo cuja solução se conhece e que não gera dúvidas nem exige tentativas’. Ou seja, ele trata os problemas como ilustrativos como exercícios de aplicação da teoria e não como verdadeiros problemas, que é o que eles representam para o aluno.

O entendimento destes problemas-exemplo ou problemas-tipo, pelo estudante, que supostamente exigem o respaldo do conhecimento teórico do assunto estudado, é visto pelo professor como condição suficiente para que o aluno se lance à resolução dos problemas que lhe são propostos.

Dentro desta concepção, as dificuldades do aluno com a resolução de problemas são geralmente diagnosticadas, pelo professor, como estando relacionadas a não compreensão, em níveis desejados, dos temas abordados e/ou insuficientes conhecimentos matemáticos. 'Quando se pergunta ao professor em atuação quais podem ser as causas do fracasso generalizado na resolução de problemas de física, raramente expõe razões que culpem a própria didática empregada.'

Neste trabalho procura-se mostrar que a resolução de problemas de lápis e papel, em física, não deve ser considerada pelo professor, com o consentimento do próprio aluno, como uma atividade na qual este último, por esforço próprio, sem qualquer orientação específica, tenha necessariamente êxito. Ao contrário! O que se vê em aula, tanto a nível do segundo grau, quanto no ciclo básico do ensino universitário, é que as dificuldades do estudante 'na transferência' do que aprendeu à novas situações são muito grandes." (Peduzzi 1997, pag. 230-231)

Não é difícil concordar, em linhas gerais, com vários pontos mencionados na citação acima, como por exemplo: quanto à distância entre a importância que a resolução de problemas tem para a disciplina e a postura docente de não investir didaticamente nesta área, jogando a culpa na falta de pré-requisitos teóricos, o que acaba levando a uma ênfase na quantidade de problemas a serem resolvidos, em detrimento da qualidade dos mesmos e dos processos de resolução e discussão; ou no que diz respeito às grandes dificuldades dos estudantes de transferirem o que aprenderam para novas situações; e igualmente quanto à necessidade de orientação específica.

Por outro lado, fundamentado nas idéias de Thomas Kuhn, pode-se defender o ponto de vista de que problemas-tipo são fundamentais na aprendizagem da física e é a partir desta perspectiva que este artigo será desenvolvido.

ESTUDOS SOBRE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Está longe dos propósitos deste trabalho realizar uma revisão compreensiva da literatura sobre resolução de problemas enquanto uma área de investigação. Todavia, com a finalidade de estabelecer um pano de fundo para a argumentação que será feita nas seções seguintes, é importante indicar as tendências mais influentes e importantes.

Echeverría y Pozo Munício (1994) identificam duas grandes tendências com relação ao enfoque dado à resolução de problemas e ao seu ensino: estratégias gerais de resolução e estratégias ligadas a conteúdos específicos. A estas, acrescentarei a proposição de Gil Perez¹ que preconiza a adoção de novos pressupostos, em uma abordagem que denomina resolução de problemas como investigação e, com relação à qual, tecerei algumas críticas

Estratégias Gerais

¹ Por Gil Perez entenda-se sempre este pesquisador e seus vários colaboradores.

O estudo clássico nesta linha é o conhecido manual de G.Polya, “How to solve it?”, publicado pela primeira vez em 1945 (Polya 1975). Ainda que dirigido de forma especial a professores e alunos de matemática o livro se propõe a ensinar uma heurística para facilitar a resolução de problemas em geral, que pode ser resumida em quatro fases: compreensão do problema, concepção de um plano, execução do plano, visão retrospectiva.

Fases semelhantes (descrição, planejamento, implementação e conferência) foram adotadas por autores voltados para a área de física (Reif et al. 1976) e são exemplos de uma linha de pensamento segundo a qual:

“a resolução de problemas se baseia na aquisição de estratégias gerais, de forma que uma vez adquiridas podem se aplicar, com poucas restrições, a qualquer tipo de problema. Segundo este enfoque ensinar a resolver problemas é proporcionar aos alunos essas estratégias gerais, para que as apliquem cada vez que se encontrem com uma situação nova ou problemática.

A solução de problemas seria assim um conteúdo escolar generalizável, independente das áreas específicas do currículo, que deveria ser abordado a partir das matérias mais formais (é sintomático que solucionar problemas nos evoque ainda as Matemáticas, a Filosofia, etc.).” (Echeverría y Pozo Munício 1994, pag. 20)

Não se pode deixar de reconhecer que estudos nesta linha chamam a atenção para aspectos relevantes. Ainda que pareça óbvio nunca é demais alertar alunos e professores que compreender um problema (quais os dados? quais as incógnitas?) é necessário para a sua resolução, já que é comum nos depararmos com alunos que, em uma situação de prova, falham nestes aspectos.

Do mesmo modo, outras sugestões apresentadas por Polya como, por exemplo, buscar na memória problemas semelhantes já resolvidos (na fase de concepção de um plano) ou conferir o resultado (na fase de visão retrospectiva) são tão pertinentes quanto desconsideradas nas aulas de física.

Entretanto, permanecer exclusivamente neste nível mais geral (o que nem Polya pretendia) implicaria em desconsiderar aspectos ligados ao conhecimento de conceitos, princípios e procedimentos específicos que podem exercer influências de primeira ordem no desempenho dos alunos.

Estratégias Ligadas a Conteúdos Específicos

Outra tendência, no sentido de se entender a resolução de problemas e sua instrução, encontra-se identificada com a perspectiva segundo a qual a questão só pode ser abordada no âmbito das áreas e conteúdos específicos aos quais se referem os problemas, não tendo sentido ensinar a resolver problemas de forma geral, mas apenas em cada uma das áreas específicas (Echeverría y Pozo Munício 1994).

Estudos nesta linha, geralmente, envolvem a comparação entre as soluções de novatos (alunos com pouca experiência) e “experts” (quase sempre professores universitários) e tendem a mostrar que os processos utilizados diferem em função do conhecimento e experiência prévia no domínio específico, que dificilmente se generalizam e transferem a problemas de outras áreas. Ainda, segundo Echeverría y

Pozo Munício (1994)², pesquisas com problemas bem definidos (com enunciados do tipo fechado e tradicional) mostram que os “experts” levam menos tempo que os novatos em sua solução:

“...já que os conhecimentos prévios disponíveis lhes permitem reconhecer com facilidade os traços e atributos essenciais do problema e aplicar, de modo normalmente rotineiro ou automatizado, procedimentos de solução adequados. Em outras palavras, os experts reconhecem o problema como uma situação conhecida, com o que, de modo mais ou menos automático, estabelecem, segundo a terminologia de POLYA, o plano de ação adequado que executam com rapidez e eficácia.....

Poderíamos dizer que normalmente a perícia permite reduzir o que é um problema para os novatos em um simples exercício de aplicação de rotinas automatizadas. Uma das teorias mais estendidas na explicação do comportamento expert faz referência ao processo de automatização de habilidades, que permite ao expert realizar de maneira rápida, eficaz e sem apenas gasto atencional tarefas que para as pessoas não experimentadas com este tipo de problemas resultaria difíceis e custosas....

Por conseguinte, vemos que a forma expert de resolver um problema vem a consistir paradoxicamente em evitar o problema de enfrentar-se com uma situação nova e desconhecida, como sucede com muita frequência às pessoas com menos experiência. Os conhecimentos acumulados através da prática permitem ao expert ‘reconhecer’ o problema, incluindo-o em uma categoria de situações-problema conhecida e aplicando, através de uma busca ‘para a frente’, o procedimento habitual de solução, de tal maneira que para o expert o reconhecimento do problema (fase 1 de POLYA) vai a conduzir já de modo imediato, ou semifechado, os passos a dar nas fases 2 e 3 (seleção de um plano estratégico e execução do mesmo)...

Poderia se dizer que a resolução expert de problemas se baseia em grande medida na aplicação de procedimentos técnicos, mais que no uso deliberado e intencional de estratégias...Sem dúvida, esta automatização de técnicas, produto da prática, permite liberar recursos cognitivos que fazem com que a conduta expert seja também mais eficaz quando defronta com ‘problemas verdadeiros’, quer dizer, com situações que não podem ser facilmente reduzidas a categorias já conhecidas...

A automatização das resoluções dos problemas habituais, convertidos em exercícios sobreaprendidos, permitiria detectar ou reconhecer com mais facilidade os problemas realmente novos, que requerem tratamentos ou estratégias específicas.

Em definitivo, dependendo da natureza dos problemas e do conhecimento prévio que tenham sobre eles, os experts baseiam seu maior rendimento em uma acumulação de informação específica na memória e em um domínio especializado de conhecimentos específicos, no caso dos problemas simples, ou em um maior conhecimento conceitual e um maior controle estratégico que lhes permite enfrentar situações parcialmente novas ou desconhecidas. Em todo caso, a maior eficiência dos procedimentos técnicos e estratégicos empregados pelos experts se assenta em sua maior base de conhecimentos específicos de domínio. Por isso, a habilidade de resolver problemas é, segundo este

² A seguir, tomei a liberdade de citar extensivamente trechos deste trabalho porque os autores apresentam, de forma clara e concisa, resultados que, como se verá mais para a frente, podem ser relacionados com a visão kuhniana a respeito do papel desempenhado pelos exemplares, se bem que os autores do trabalho não façam esta ligação. Devo deixar claro ainda que, o fato de haver utilizado muito da análise realizada por Echeverría y Pozo Munício, não deve conduzir à inferência de que os mesmos concordariam com as idéias por mim defendidas sobre a relevância dos problemas do tipo fechado e tradicional.

ênfoque, específica em cada campo ou domínio de conhecimento.” (Echeverría y Pozo 1994, pag. 39-41)

Novos Pressupostos: Resolução de Problemas Como Investigação

As pesquisas sobre resolução de problemas, segundo as tendências descritas, foram criticadas por Gil Perez (Gil Perez et al. 1988, Gil et al. 1992) que, mesmo reconhecendo que as investigações produziram alguns resultados de interesse, apontam não terem as mesmas contribuído para reduzir as elevadas taxas de fracasso dos alunos. Segundo estes autores, o fracasso estaria relacionado com os pressupostos deste campo de investigação, sendo portanto necessário questioná-los em busca de novas perguntas que redirecionassem as pesquisas. Para eles o principal obstáculo seria constituído pela forma através da qual os problemas são tradicionalmente apresentados.

Esta forma inclui um conjunto de dados numéricos e incógnitas a serem calculadas, o que leva os alunos a adotarem um comportamento que Gil Perez denomina “operativismo mecânico”, caracterizado por tentativas de aplicação imediata de fórmulas e equações, sem um mínimo de reflexão conceitual. Segundo um autor simpático às suas idéias:

“De acordo com Gil Perez uma autêntica resolução de problema deve, necessariamente, possibilitar ao solucionador a emissão de hipóteses e a elaboração de estratégias de solução, a partir do repertório teórico de que dispõe, bem como uma cuidadosa apreciação da resposta obtida, em termos de sua viabilidade física à situação desenvolvida. Neste sentido, ao mesmo tempo que ressalta a importância dos problemas abertos para alcançar estes objetivos, ele se posiciona contra o uso de ‘problemas-tipo’, que provocam fixação e tornam mais difícil o engajamento do aluno dentro de uma concepção de problema que privilegia o caráter de investigação que esta atividade deve ter.” (Peduzzi 1997, pag. 242)

Tomando como pressuposto pedagógico que as atividades de resolução de problemas devem refletir de forma adequada o processo e a natureza da investigação científica, Gil Perez apresenta a proposta de utilização de problemas abertos, que consistem na transformação dos problemas tradicionais em enunciados que, pela sua própria formulação tornariam mais factível a formulação de hipóteses, a elaboração de estratégias de resolução, a busca de soluções alternativas e de uma discussão aprofundada dos aspectos teóricos. Os problemas abertos seriam uma forma de tornar impossível o operativismo mecânico, atacando as suas causas, que estariam embutidas nos enunciados dos problemas tradicionais, estruturados na conexão entre dados e incógnitas.

Assim (Gil et al. 1992, pag. 12), um problema fechado tradicional como:

“Sobre um móvel de 5000 kg, que se desloca com uma velocidade de 20 m/s, atua uma força de freamento de 10000 N. Que velocidade terá 75 m após ter começado a frear?”

Pode ser transformado em uma situação mais aberta como:

“Um carro começa a frear ao ver a luz amarela. Que velocidade terá no semáforo?”

Ou, mais aberta ainda:

“O trem vai bater na pedra que se encontra no meio dos trilhos?”

A proposta de Gil Perez está centrada em um modelo de “resolução de problemas como investigação”, cujas orientações principais consistem em: (Gil et al. 1992, pag. 13-17)

I. Considerar qual pode ser o interesse da situação problemática considerada.

II. Começar por um estudo qualitativo da situação, tentando abordar e definir de maneira precisa o problema, explicitando as condições que se consideram reinantes, etc.

III. Emitir hipóteses fundadas sobre os fatores dos quais podem depender a grandeza buscada e sobre a forma desta dependência, imaginando, em particular, casos limites de fácil interpretação física.

IV. Elaborar e explicar possíveis estratégias de solução antes de proceder a esta, evitando o puro ensaio e erro. Buscar distintos modos de resolução para possibilitar a contrastação dos resultados obtidos e mostrar a coerência do corpo de conhecimentos de que se dispõe.

V. Realizar a resolução verbalizando ao máximo, fundamentando o que se faz e evitando, uma vez mais, operativismos carentes de significação física.

VI. Analisar cuidadosamente os resultados à luz das hipóteses elaboradas e, em particular, dos casos limites considerados.

VII. Considerar as perspectivas abertas pela investigação realizada contemplando, por exemplo, o interesse de abordar a situação em um nível de maior complexidade ou considerando suas implicações teóricas (aprofundamento na compreensão de algum conceito) ou práticas (possibilidades de aplicações técnicas). Conceber, particularmente, novas situações a investigar, sugeridas pelo estudo realizado.

VIII. Elaborar uma memória que explique o processo de resolução e que destaque os aspectos de maior interesse no tratamento da situação considerada.

Incluir, em particular, uma reflexão global sobre o que o trabalho realizado pode ter abordado, do ponto de vista metodológico ou para incrementar a competência dos resolventes.

Sem dúvidas, Gil Perez identifica no operativismo mecânico um problema real, o tão conhecido “formulismo”. Penso, todavia, que esta prática pode ser minimizada, mesmo com problemas tradicionais como procurarei argumentar no final deste artigo. Igualmente, em princípio, nada impede que as orientações listadas acima possam ser exploradas em problemas tradicionais. Trata-se, antes de tudo, de mudar a postura docente, no sentido de que a resolução de um problema passe a ser encarada como uma situação na qual as bases conceituais devem ser explicitadas e discutidas.

Um outro pressuposto, assumido por Gil Perez em sua crítica aos problemas tradicionais, tem por base um aspecto de ordem epistemológica que considero discutível. Segundo ele, a inclusão dos dados no enunciado e a indicação de todas as condições existentes, como ponto de partida, seriam um reflexo de concepções indutivistas (Gil et al. 1992). Contudo, a indução, nas ciências naturais, refere-se ao

processo de se estabelecer enunciados universais a partir de dados empíricos particulares, e fundamenta uma concepção de cientificidade que foi seriamente abalada com a crítica de Popper ao positivismo-lógico. Nada pode estar mais longe de uma concepção indutivista e empirista do que os problemas tradicionais, pois os “dados” que aparecem no enunciado daqueles problemas não são dados empíricos em absoluto. Que professores e autores de livros texto tenham concepções empiristas e indutivistas, que foram ultrapassadas pela moderna filosofia da ciência, é fato bem conhecido. Efetuar a crítica destas idéias é pertinente, mas associá-las aos problemas tradicionais, parece ser um equívoco.

É importante apontar que minhas considerações sobre as idéias de Gil Perez encontram-se influenciadas por uma perspectiva, segundo a qual os problemas fechados e tradicionais assumem um papel de fundamental importância no processo educacional. Esta perspectiva é fornecida pela análise que Kuhn faz sobre o processo de formação de membros de uma comunidade científica.

KUHN E A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Quando se considera a importância que Kuhn atribui ao papel desempenhado pelos problemas no processo de aprendizagem, causa estranheza que as idéias daquele filósofo sobre o tema tenham sido praticamente ignoradas nos estudos sobre resolução de problemas, não aparecendo nem mesmo como objeto de crítica. No entanto, a resolução de problemas, e principalmente o estudo de suas soluções padronizadas, é destacada por ele como uma atividade básica na educação dos membros de uma comunidade científica³.

Esta lacuna pode ser decorrência de que, do conhecido modelo de fases para o desenvolvimento da ciência proposto por Kuhn, a questão das revoluções científicas seja geralmente enfatizada, em detrimento das pertinentes observações que ele faz a respeito da ciência normal⁴.

A pesquisa em períodos de ciência normal que, historicamente, tem ocupado a maior parte dos cientistas durante a maior parte do tempo (revoluções científicas são eventos marcantes, mas raros), é comparada por Kuhn (1975) à resolução de quebra-cabeças, ou seja, de problemas com soluções dentro de “regras de jogo” tacitamente aceitas pelos membros de comunidade científica, dentre as quais se inclui, por exemplo, o não questionamento de pressupostos teóricos fundamentais. É importante salientar que, ao comparar o trabalho em ciência normal com a resolução de quebra-cabeças, Kuhn não tinha em mente qualificá-lo como algo de menos importância, visto que para ele as revoluções científicas só ocorrem como decorrência da ciência normal.

A educação científica que, para Kuhn, deve ser entendida no contexto da formação de futuros membros de uma comunidade científica, tem por objetivo preparar para o trabalho em ciência normal o que significa, entre outras coisas, assumir as teorias dominantes e utilizar a linguagem que são típicas daquela comunidade. O estudante

³ Estou considerando alunos de licenciatura e bacharelado como futuros membros de uma comunidade mais ampla de profissionais da área de física, cuja formação deve conter um parte comum.

⁴ Apesar do próprio Kuhn haver denominado sua obra mais importante “A Estrutura das Revoluções Científicas”, penso que a questão das revoluções constituiu-se na parte mais frágil do seu estudo: revoluções científicas podem ocorrer de maneiras diversas da descrita por Kuhn e são por demais fluidas até para terem uma estrutura. Na minha opinião, a caracterização da ciência normal é a contribuição mais importante deixada por Kuhn, e um título mais apropriado para o livro teria sido “A Estrutura da Ciência Normal”.

passa a “ver o mundo” (de que tratam as teorias científicas) da mesma forma que os seus professores e, paulatinamente, vai se tornando membro de novos grupos culturais. Inicialmente, do grupo mais amplo de profissionais da área de física, e depois de novos subgrupos que constituem a estrutura fina da comunidade: professores de física no segundo grau, físicos nucleares, físicos da matéria condensada, astrofísicos, pesquisadores em ensino, etc.

Uma das maiores contribuições de Kuhn, foi o de descrever este processo de formação, chamando a atenção para a sua rigidez, e mostrando como ele se fundamenta nos problemas padronizados que constam dos livros-texto (manuais):

“Os cientistas não formam, evidentemente, a única comunidade profissional que adquire pela educação um conjunto de padrões, instrumentos e técnicas que mais tarde usam no seu próprio trabalho criativo. Porém uma rápida vista de olhos pela pedagogia científica sugere que ela pode induzir uma rigidez profissional praticamente impossível de alcançar noutros campos, exceto na Teologia.

Talvez a característica mais extraordinária da educação científica, característica que é levada a um ponto desconhecido noutros campos de atividade criativa, seja a de se fazerem com manuais, obras escritas especialmente para estudantes. ...

O fato de estar baseada quase exclusivamente em manuais não é tudo que há de específico na educação científica.....Mesmo livros que estão em concorrência para serem adotados em um mesmo curso científico diferem sobretudo só no nível de apresentação e nos pormenores pedagógicos e não no conteúdo ou conjunto das idéias.....Aparentemente os cientistas estão de acordo sobre o que é que cada estudante deve saber da matéria. Essa é a razão que explica por que, na preparação de um currículo pré-profissional, eles podem usar manuais em vez duma combinação eclética de originais de investigação.....

*Do mesmo modo, a técnica de apresentação dos assuntos, característica dos manuais científicos não é a mesma que nos outros campos.....**Pelo contrário, esses livros apresentam, desde o começo, soluções concretas de problemas que a profissão aceita como paradigmas, e então pede-se aos estudantes que, quer usando um lápis e papel quer servindo-se dum laboratório, resolvam por si mesmo problemas modelados à semelhança, na substância e no método, dos que o livro lhes deu a conhecer** (Ênfase minha). Só na instrução elementar de línguas ou no treino dum instrumento musical é tão importante e essencial a prática de ‘exercícios de dedo’. E estes são justamente os campos em que o objeto da instrução é produzir com o máximo de rapidez ‘quadros mentais fortes’ ou *Einstellungen*. Sugiro que nas ciências o efeito dessas técnicas é exatamente o mesmo. Embora o desenvolvimento científico seja particularmente produtivo em novidades que se sucedem, a educação científica continua a ser uma iniciação relativamente dogmática a uma tradição pré-estabelecida de resolver problemas, para a qual o estudante não é convidado e não está preparado para apreciar.” (Kuhn 1979, pag. 48-50)*

O papel fundamental identificado por Kuhn para a resolução de problemas encontra-se relacionado com uma visão de educação (no sentido de formação de membros de uma comunidade científica) que, por sua vez, adquire sentido no âmbito do seu modelo de fases para o desenvolvimento da ciência, principalmente quando se considera a função por ele atribuída aos paradigmas neste processo.

No Posfácio-1969 à “A Estrutura das Revoluções Científicas” Kuhn admite ter utilizado o termo paradigma tanto com sentido mais geral, para significar todo o

conjunto de compromissos de pesquisa de uma comunidade científica, e que ele passaria a chamar de matriz disciplinar, como em um sentido restrito, e que ele passaria a chamar de **exemplares**. Os exemplares⁵ são um dos componentes da matriz disciplinar, ao lado das generalizações simbólicas, dos modelos heurísticos e ontológicos, e dos valores compartilhados, e referem-se especificamente:

“...às soluções concretas de problemas que os estudantes encontram desde o início de sua educação científica, seja nos laboratórios, exames ou no fim dos capítulos dos manuais científicos (Ênfase minha). Contudo, devem ser somados a estes exemplos partilhados pelo menos algumas das soluções técnicas de problemas encontráveis nas publicações periódicas que os cientistas encontram durante suas carreiras como investigadores. Tais soluções indicam, através de exemplos, como devem realizar seu trabalho.” (Kuhn 1975, pag. 232)

Exemplos clássicos de exemplares são os problemas de plano inclinado e pêndulo simples, de distribuição esférica de cargas elétricas ou de massas, e da função de onda de uma partícula confinada em uma caixa que, de uma forma ou de outra, aparecem em todos os textos introdutórios universitários de mecânica, eletricidade e estrutura da matéria. São os problemas-tipo, criticados por Gil Perez e outros.

Estes problemas são, em geral, encarados como aplicações da teoria. Segundo uma perspectiva kuhniana, entretanto, os problemas têm uma função mais central na formação dos alunos. Ao resolver os problemas exemplares, ou seja, paradigmáticos, eles aprendem a aplicar as versões apropriadas das leis físicas (generalizações simbólicas) a contextos específicos, um processo através do qual novos problemas passam a ser encarados como casos análogos àqueles já encontrados previamente. Esta habilidade de perceber uma variedade de situações sob uma mesma “gestalt” é o que de mais importante um aluno adquire ao trabalhar os problemas exemplares já que, desta forma, sua percepção (bem como seu discurso e suas ações) vai sendo moldada segundo a maneira de ver que é peculiar a uma comunidade científica. Para Kuhn, é um processo similar ao que ocorre na pesquisa em períodos de ciência normal :

“O papel das relações de similaridade adquiridas revela-se claramente também na história da ciência. Os cientistas resolvem quebra-cabeças modelando-os de acordo com soluções anteriores, freqüentemente com recursos mínimos a generalizações simbólicas.” (Kuhn 1975, pag. 235)

Mais ainda, os componentes da matriz disciplinar devem ser considerados como partes de uma inseparável mistura, como componentes integrados:

“Ao aprender um paradigma, o cientista adquire ao mesmo tempo uma teoria, métodos e padrões científicos, que usualmente compõem uma mistura inextricável. Por isso, quando os paradigmas mudam, ocorrem alterações significativas nos critérios que determinam a legitimidade, tanto dos problemas, como das soluções propostas.” (Kuhn 1975, pag. 144)⁶

Como foi bem apontado em um estudo recente sobre a obra de Kuhn:

“Segue-se de tudo isto que não podemos encarar a relação entre as generalizações simbólicas, os modelos, os valores, e as situações problema concretas de um lado e a matriz disciplinar de outro como a de elementos ou subconjuntos para

⁵ Para uma análise filosófica mais aprofundada do papel desempenhado pelos exemplares na ciência normal ver Abrantes (1998).

⁶ Nesta passagem o termo paradigma foi usado com o sentido mais geral (matriz disciplinar).

um conjunto. A relação entre aqueles itens é de momentos ligados de uma simples unidade; ainda que os momentos individuais possam ser distinguidos, eles não podem nem ser concebidos como separados.” (Hoyningen-Huene 1993, pag. 157)

AUXILIANDO OS ALUNOS A RESOLVER PROBLEMAS

Em um levantamento realizado entre professores do Departamento de Física da UFSC sobre o pensamento a respeito do fracasso na resolução de problemas, Peduzzi (1997) constatou que as causas mais citadas foram a falta de embasamento teórico adequado e a insuficiência de conhecimentos de matemática elementar.

Até certo ponto os professores estão certos. Sem dúvida é necessária a existência de alguma base teórica, e de alguns conhecimentos matemáticos, como ponto de partida para a resolução de problemas. Por outro lado, a partir de uma perspectiva kuhniana, pode-se argumentar que é ilusório esperar que os alunos aprendam perfeitamente a teoria antes, para depois aplicá-la aos problemas. Estamos tratando de um processo concomitante e interdependente: ao mesmo tempo em que a teoria é necessária para resolver problemas, ela é também refinada e aprofundada através da resolução de problemas, e o mesmo pode ser dito com relação aos procedimentos matemáticos.

Os exemplares fornecem os padrões a partir dos quais as relações de similaridade serão adquiridas e as soluções de novos problemas serão modeladas. Nós professores (isto é, “experts” no assunto) identificamos quase de imediato, na maioria dos casos, o tipo de exemplar envolvido. Na verdade, não usamos estratégias para resolver os problemas que ensinamos; é que já resolvemos tantos que temos os modelos implícitos.

É a capacidade de fazer algo parecido com isto que distingue os “bons alunos”, ou seja aqueles que se saem bem nas provas. Eles aprenderam a ver os novos problemas como sendo do mesmo tipo dos exemplares (o que não quer dizer que sejam iguais, mas sim que pertencem a uma mesma classe) e sabem fazer as adaptações necessárias. Afinal, provas são, em geral, compostas por variações dos problemas previamente discutidos, e todo professor bem sabe que se quiser diminuir a média de uma turma basta incluir em uma prova problemas de tipos diferentes dos apresentados nas aulas.

Professores tendem a ficar bastante satisfeitos (e com razão, pois esta é a função dos problemas) quando os alunos conseguem reconhecer o problema da prova como similar a um tipo de exemplar, discutido em aula ou no livro, fazer as necessárias adaptações para a sua resolução, e apresentar os seus procedimentos de forma correta e inteligível.

Este processo de iniciação ao paradigma seguramente funciona para alguns alunos, que assimilam com mais facilidade os padrões de solução e as transferem de forma adequada. Uma quantidade considerável dos alunos, no entanto, não consegue chegar a este estágio: se assim não fosse, a resolução de problemas não seria uma área de pesquisa em ensino de física. A seguir, tomando como referencial a perspectiva kuhniana, passo a sinalizar alguns pressupostos e suas implicações que, sem esgotar o assunto⁷, podem servir de base para pesquisas sobre a utilização dos problemas de “lápiz e papel”.

⁷ Ver, por exemplo, Delizoicov (1996) que apresenta uma interpretação do processo cognitivo envolvido na construção e apropriação de paradigmas baseada em aspectos das dimensões socio-interacionista (Vygotsky) e construtivista (Piaget).

Em primeiro lugar, é necessário reconhecer que tais problemas fazem parte da matriz disciplinar da física e têm exercido, historicamente, uma importante função na formação dos membros de nossa comunidade mais ampla. Como tal, contribuem para um processo que tem garantido a continuidade daquela ciência, produzindo não só pesquisadores (no sentido “hard” do termo), mas também professores de ensino médio, filósofos e historiadores da ciência, e até mesmo pesquisadores em ensino.

Esta função, que nem sempre é reconhecida de forma apropriada, tem muito pouco a ver com o estímulo à criatividade e à capacidade de formulação de hipóteses e de realizar investigações. Assim, criticar os problemas tradicionais por não propiciarem o desenvolvimento destas habilidades, como fazem alguns pesquisadores em ensino, seguindo Gil Perez, é um tiro fora do alvo. Não pretendo negar a importância das mesmas, mas tão somente indicar que não é função dos problemas de lápis e papel desenvolvê-las. Eles encontraram o seu lugar no ensino como um veículo para se ensinar a teoria, por meio de aplicações à “natureza idealizada” de que trata a ciência curricular, sendo instrumentais para familiarizar os estudantes com uma nova linguagem, com procedimentos matemáticos e com formas de raciocínio típicos da profissão, como por exemplo a análise dimensional e aplicação de soluções gerais a casos limites. Visto que eles têm cumprido esta função para uma parte dos estudantes, a questão que se coloca é como estender isto para a maioria.

Não me parece ser produtivo (nem necessário) a invenção de novos tipos de problemas, visto que os problemas tradicionais apresentam potencialmente, a possibilidade de se fazer uma boa parte do que Gil Perez apresenta como vantagens dos problemas abertos: análise qualitativa da situação física, discussão teórica, verbalização da resolução, análise dos resultados e de casos limites. Nada exclui que problemas abertos possam ser, eventualmente (até por questões do tempo disponível), utilizados para variar a metodologia e estimular uma discussão de tipo diferente. Eu sugeriria, inclusive, que as discussões sobre um problema aberto seriam mais ricas, se ocorressem no fechamento de um assunto, quando os alunos já tivessem, através da resolução de problemas tradicionais, adquirido uma fundamentação básica.

Dentro desta perspectiva seria mais produtivo tratar os problemas tradicionais com um maior cuidado pedagógico, incentivando a discussão teórica, pois:

“Não há nada de errado, naturalmente, com a solução de problemas, identificando-os genuinamente como exemplos de uma classe mais extensa à qual certos princípios e operações podem ser aplicados - desde que se compreenda os princípios em questão, porque eles se aplicam a este caso em particular, e a relação entre os princípios e as operações manipulativas usadas na aplicação. Com demasiada frequência, porém, isto não é o caso. Na maioria das salas de aula de matemática ou de ciências, a solução de problemas-tipo envolve pouco mais do que a memorização de rotina e ao aplicação [mecânica] de fórmulas.” (Ausubel et al. 1980, pag. 474, citado em Peduzzi 1997)

Não há nada de estritamente necessário na situação descrita no final da citação. Os problemas de lápis e papel, tradicionais e fechados, apresentam situações que podem ser exploradas do ponto de vista teórico e permitem que concepções alternativas e pré-requisitos matemáticos sejam identificados e trabalhados. E isto depende, e muito, da postura docente, que pode tanto favorecer, em um extremo, a simples memorização de fórmulas e procedimentos, ou em outro, a integração das mesmas com aspectos teóricos mais gerais, evitando o operativismo mecânico e a pedagogia da superficialidade corretamente denunciadas por Gil Perez.

Um segundo ponto a ser considerado é que, associado a cada capítulo de um livro texto (a divisão dos conteúdos é muito semelhante nos diferentes manuais), existe um número relativamente pequeno de tipos de problemas e soluções que podem ser considerados exemplares, e a grande quantidade de problemas propostos são variações destes casos paradigmáticos. Um maior cuidado, portanto, na escolha dos problemas é necessário, devendo-se selecionar aqueles que apresentam maior poder de transferência para as suas variantes. A qualidade na escolha e no tratamento dos problemas considerados são mais importantes do que a quantidade de problemas discutidos em sala de aula.

Um terceiro ponto é que a capacidade de resolver problemas poderá ser melhorada, e estendida a um maior número de estudantes, se houver a preocupação em tornar a prática de modelar a resolução de problemas em exemplares mais visível, ensinando-se aos alunos as soluções paradigmáticas e a lógica das suas possíveis variações, ao invés de esperar que isto seja tacitamente aprendido, já que a experiência de sala de aula tem mostrado ser este um processo de difícil assimilação pelos alunos⁸. Não se trata, evidentemente, de fazer com que os alunos decorem fórmulas e procedimentos, como apontam críticos dos “problemas-tipo”, mas que os integrem em sua estrutura cognitiva com os aspectos teóricos mais gerais e inclusivos. Isto requer uma maior atenção aos aspectos conceituais, incorporando à resolução de problemas os resultados de outras áreas de pesquisas em ensino como, por exemplo os estudos sobre concepções alternativas e sobre o uso de analogias e modelos.

A operacionalização destes pressupostos implica, em última análise, em entender a importante função, enquanto exemplares, que os tradicionais problemas de lápis e papel desempenham na aprendizagem da física, não os condenando por aquilo que não podem atingir. Por outro lado, implica também em rever a forma com a qual são tratados em sala de aula, permitindo melhor explorar o seu potencial. Algumas diretivas que poderiam ajudar quanto a isto seriam:

1. Seleção mais criteriosa dos problemas discutidos em sala de aula e sugeridos nas listas, agrupando-os por classes de exemplares;
2. Identificação (e discussão com os alunos) de concepções alternativas que podem servir de obstáculo ao entendimento da situação envolvida e dos pré-requisitos matemáticos necessários;
3. Explicitação para os alunos dos exemplares e suas variantes;
4. Valorização do conhecimento conceitual e da análise qualitativa através da verbalização dos princípios e conceitos que podem ser aplicados, da justificativa para a aplicação e dos procedimentos usados para a solução do problema (um exemplo de como isto pode ser implementado é apresentado em Leonard et al. 1996);
5. Obrigatoriedade dos alunos apresentarem a resolução dos problemas de forma discursiva, fundamentada e organizada, ou seja, a escreverem (e não apenas contas e fórmulas), o que normalmente não fazem porque não são solicitados.

PARA FINALIZAR

⁸ Quanto a este aspecto o ponto de vista de Kuhn é distinto. Segundo ele o processo é antes tácito do que explícito. Mas Kuhn não era um pesquisador em ensino, não fazendo parte do seu universo de preocupações tornar a aprendizagem mais eficiente, diminuir a repetência e a evasão e aumentar a auto-estima dos estudante.

Neste trabalho procurei chamar a atenção, a partir de uma perspectiva kuhniana, para o papel fundamental que os problemas de lápis e papel, enquanto exemplares componentes de uma matriz disciplinar, desempenham na formação dos membros de nossa comunidade, aqui considerada em um sentido amplo. Isto não significa que eu esteja defendendo que a formação dos nossos alunos, tanto bacharéis quanto licenciados, deva se resumir à aprendizagem das teorias físicas através de exemplares, mesmo quando consideramos que este conceito envolve também atividades de laboratório, que não foram aqui exploradas.

O conhecimento da história e filosofia da ciência, e a discussão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade são aspectos que deveriam ser valorizados como parte daquela formação. Não é, contudo, através da resolução de problemas de lápis e papel, sejam eles fechados e tradicionais, ou abertos, que estes aspectos podem ser trabalhados. Eles, por suas próprias características, exigem uma aproximação diferente.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, P. (1998) Kuhn e a noção de ‘exemplar’. *Principia*, 2(1), 61-102.
- DELIZOICOV, D. (1996) O interacionismo na construção dos paradigmas. *Pro-Posições*, 1(19), 84-94.
- GIL PEREZ, D.; MARTINEZ TORREGROSA, J.; SENENT PEREZ, F. (1988) El fracasso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 131-146.
- Gil, D.; TORREGROSA, J.M.; RAMIREZ, L.; CARRÉE, A.D.; GOFARD, M.; CARVALHO, A.M.P. Questionando a didática de resolução de problemas: elaboração de um modelo alternativo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 9(1), 7-19.
- ECHEVERRÍA, M.P.P. y POZO MUNÍCIO, J.I. (1994) Aprender a resolver problemas y resolver problemas para aprender. In POZO MUNÍCIO, J.I. (Coord.) *La solución de problemas* (Madrid: Santillana).
- HOYNINGEN-HUENE, P. (1993) *Reconstructing scientific revolutions: Thomas S. Kuhn's philosophy of science* (Chicago: The University of Chicago Press).
- KUHN, T.S. (1975) *A estrutura das revoluções científicas* (São Paulo: Perspectiva).
- KUHN, T.S. (1979) A função do dogma na investigação científica. In CARRILHO, M.M. (Org.) *História e Prática das Ciências* (Lisboa: A Regra do Jogo).
- LEONARD, W.J.; DUFRESNE, R.J.; MESTRE, J.P. (1996) Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, 64(12), 1495-1503.
- PEDUZZI, L.O.Q. (1997) Sobre a resolução de problemas no ensino da física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14(3), 229-253.
- POLYA, G. (1975) *Como plantear y resolver problemas* (Mexico: Trillas)
- REIF, F.; LARKIN, J.H.; BRACKET, G.C. (1976) Teaching general learning and problem solving skills. *American Journal of Physics*, 44(3), 212-217.