

REFLEXÕES SOBRE O ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL: PRÁTICAS, CONTEÚDOS E PRESSUPOSTOS

A. VILLANI*

Instituto de Física - USP

INTRODUÇÃO

Quando um docente prepara uma aula normal de Física, considera que seus estudantes conheçam bem pouco do assunto ensinado ou, no máximo, que eles tenham informações distorcidas a respeito. Consequentemente, sua meta torna-se preencher as lacunas dos alunos, em primeiro lugar com a exposição das leis e fórmulas fundamentais, e depois com exercícios e problemas nos quais as mesmas leis são utilizadas. E para que permaneça alguma coisa mais facilmente na cabeça dos alunos, essas mesmas fórmulas são demonstradas, repetidas, esmiuçadas e aplicadas em casos triviais e em exercícios mais complexos. Os alunos, pelo menos os mais dedicados e disciplinados, tomam nota, pedem esclarecimentos, tentam imitar o professor neste ou naquele exercício ou passagem, até que finalmente aprendem o jogo: quando o exercício é sobre colisões elásticas, é preciso usar as fórmulas das conservações da energia e da quantidade de movimento; quando o problema é sobre equilíbrio, estático e dinâmico, as leis de Newton são a salvação. Pode ser que o professor até mostre algum experimento para confirmar a teoria, mas o exame se constituirá invariavelmente de um exercício bem parecido com os resolvidos em classe ou no livro. A maioria dos alunos é aprovada, mesmo que com dificuldade, e todos ficam satisfeitos.

Na realidade as coisas não são tão tranquilas como na descrição caricatural que acabamos de apresentar. Muitas vezes ficam na nossa garganta perguntas como: Será que os alunos sabem aquilo que escrevem nas provas? Será que eles aprenderam o que foi ensinado? Será que aquilo que foi aprendido tem algum sentido profundo para os estudantes? Será que os alunos estão se tornando bons físicos?

Ao nível dos sintomas, a grande maioria dos docentes concorda que, nas provas, muitas vezes os alunos parecem escrever conteú-

*Com auxílio parcial do CNPq.

dos aleatórios ou sem nexos; ninguém discorda que, na realidade, existe um abismo entre o conteúdo ensinado e o que foi aprendido; muitos reconhecem que o que foi aprendido pelos estudantes raramente ultrapassa o mero significado instrumental de ser o indispensável para "passar" nas provas; todos sabem que a tarefa de elaborar um projeto de trabalho ou simplesmente redigir a síntese de um artigo deixa a maioria dos alunos meio perdidos. Enfim, qualquer atividade que envolva um mínimo de criatividade está fora do alcance de nosso ensino.

No entanto, quando se tenta um diagnóstico sobre esta situação, o consenso é muito menor e se torna ainda mais fragmentário quando se tenta sugerir remédios eficazes.

Neste trabalho ⁽¹⁾ em primeiro lugar tentaremos fazer um diagnóstico geral sobre a prática do ensino de física, aprofundando os pressupostos que a norteiam e tentando mostrar como a articulação destes pressupostos forma uma visão muito estável; em seguida proporemos uma visão alternativa de ensino, fundamentada em pressupostos diferentes. Finalmente na última parte terminaremos pelo esboço de uma nova prática, que imaginamos mais adequada e mais significativa.

O assunto é muito importante para o Ensino de Física no Brasil: se conseguirmos despertar uma polêmica e estimular um debate a respeito, teremos atingido boa parte de nossos objetivos.

1. PRESSUPOSTOS E CONTEÚDOS DO ENSINO DE FÍSICA

A descrição da prática de ensino apresentada na Introdução, apesar de simplista, oferece um bom material para começarmos a entender a visão de ensino que domina as escolas no Brasil; além disso, outros dados extraídos da prática cotidiana serão introduzidos ao longo de nossa análise quando necessário ⁽²⁾. A visão de ensino que regula a maioria de nossas atividades escolares parece ser fundamentada numa série de pressupostos, que tentaremos focalizar de forma sintética.

O primeiro pressuposto em parte foi acenado: a mente dos alunos, para todos os efeitos práticos, é uma "tabula rasa" em Física. Tanto faz se ele desconhece totalmente o assunto a ser tratado, ou se tem já idéias distorcidas a respeito, ou se tem alguma noção vaga porém correta. Deve esquecer tudo e recomeçar numa seqüência ortodoxa: "apagar" de sua mente o que já sabe, para que o novo conhecimento possa reinar incondicionalmente.

O segundo pressuposto liga-se ao primeiro: a aprendizagem consiste fundamentalmente em colocar noções onde antes não havia nada.

A imagem da "gravação" numa tábua é particularmente feliz, pois ela resume os dois elementos essenciais: a necessidade do modelo (o conteúdo) a ser "gravado" e do esforço para realizar uma boa "gravação". O modelo é fornecido pelo professor e pelo livro didático: assim, para aprender é necessário escutar o que o professor diz, olhar o que ele faz, ler o que está escrito nos livros. Abrindo bem os olhos (da mente) não há como não aprender. O esforço para realizar a gravação é dado pelos exercícios que os alunos devem fazer em sala de aula e fora dela: somente após muitos exercícios alguma coisa ficará bem gravada.

O terceiro pressuposto refere-se ao ensinar: mostrar de forma clara e ordenada aquilo que deve ser gravado pelos alunos, a fim de que eles não façam confusões, repetir várias vezes e de várias maneiras a mensagem, pois a capacidade de ver dos alunos é limitada e eles não vêem tudo aquilo que é mostrado, e finalmente propor exercícios que não sejam muito diferentes dos resolvidos no quadro negro ou no livro, para que o padrão fundamental seja assimilado.

O quarto pressuposto diz respeito ao conteúdo a ser ensinado: ele deve ser claro, bem definido e estático. É constituído por um "pacote" de fórmulas, que representam as leis físicas fundamentais e por exemplos abstratos nos quais as leis são aplicadas. É marcado pela marginalização das situações experimentais e de exemplos extraídos do cotidiano. Este pressuposto é particularmente importante pois de fato centraliza todo o ensino de Física. Qual é este conteúdo e como se apresenta nos vários níveis?

Na pós-graduação, o reino da Mecânica Quântica, são equações de onda, matrizes diagonais e não-diagonais, Hamiltonianas perturbadas e não perturbadas, integrals duplas e triplas, numerosos índices. Uma verdadeira "selva", amenizada de vez em quando com aplicações que dizem respeito a resultados famosos ou parecidos com aqueles que marcam a história da Física do século XX. No entanto estes resultados são apresentados sem o contexto histórico e a problemática na qual eles foram obtidos, pois seu significado essencial consiste em expressar confirmações de fórmulas e não aplicações de "modelos". Pela mesma razão a preocupação com a experimentação, pelo menos como formação geral para todos os pós-graduados, é nula: afinal, a experimentação é sempre concreta e histórica e no conflito entre a fórmula e o concreto, a primeira é mais importante porque representa a essência da física. Às vezes existe um esforço, por parte do docente, em mostrar a coerência da teoria proposta, a ligação entre suas várias partes, em suma sua estrutura: no entanto, como um enfeite cultural, isso não é uma componente essencial do objeto de aprendizagem

e por conseguinte, isso não é exigido nas avaliações.

Na graduação a matemática é menos sofisticada, as integrais tornam-se simples e a maioria dos índices desaparecem: as fórmulas e leis são aproximadas e os exemplos e problemas bem mais "ajeitados". No entanto a filosofia continua a mesma e o formalismo continua complicado e opressor, pois os exemplos não se aproximam muito das situações concretas e familiares aos alunos, a satisfação de encontrar algum resultado famoso é pouco provável e o cuidado com a fidelidade ao contexto histórico permanece quase insignificante. O contexto escolar afasta a Física do universo significativo dos alunos. A apresentação da estrutura das teorias e dos "modelos" físicos continua sendo considerada como um complemento cultural não essencial; o ensino do laboratório é obrigatório, mas não representa um desafio ou uma competição com o ensino do "pacote", pois de fato sua importância é comumente considerada secundária.

No segundo grau, na melhor das hipóteses, a matemática é reduzida à álgebra, os exercícios são puras aplicações das fórmulas sem relação explícita com experimentos ou com teorias importantes. É o reino dos cursinhos e de seus métodos "eficientes". Temos a impressão que se trata de uma "caricatura" da Ciência, incapaz de resistir à passagem entre o vestibular e o primeiro ano da universidade; o conteúdo ensinado não somente é menos extenso do que nos níveis superiores (o que é razoável), mas ele é diluído, leve, abstrato, desconexo e superficial: em suma, ele é insignificante para o aluno. Nem é necessário dizer que neste nível a utilização de exemplos concretos, de contextos históricos e a preocupação com a estrutura das teorias constituem pura utopia. O próprio ensino de laboratório é quase totalmente ausente; as condições precárias nas quais o ensino de Física se realiza, na grande maioria das escolas de segundo grau tornam perfeitamente compreensível a queixa generalizada dos estudantes para os quais "a Física - quando não é totalmente incompreensível - é bastante chata".

O quinto pressuposto relaciona-se com a avaliação. Ela revela o essencial, isto é, em que medida o ensinado foi suficientemente "gravado" pelos alunos. A avaliação deve ser uma cópia adaptada (por que não idêntica?) dos exercícios resolvidos em sala de aula ou fora dela. Ela nos diz que o fundamental em Física é aprender os exemplos nos quais as leis são aplicadas, e não aplicar as leis para ver se e como elas funcionam. As novidades e as complicações que poderão aparecer são de natureza matemática (truques, simplificações) e dificilmente poderão referir-se à "física" do exercício, ou seja, à natureza do modelo ou a seus pressupostos ou a suas condições de

contorno e de aplicabilidade.

O sexto pressuposto enfoca as relações pedagógicas que caracterizam o ensino de física. O núcleo central é dado pela relação professor-aluno, ao passo que as relações entre alunos são consideradas periféricas.

A relação professor-alunos pode assumir uma forma mais burocrática, sobretudo no segundo grau, quando o grande problema do docente é dominar a disciplina da classe propondo continuamente atividades que mantenham os alunos ocupados; ela pode também assumir uma forma mais sofisticada, sobretudo no ensino superior, no qual muitas vezes se assemelha profundamente à "iniciação religiosa"⁽³⁾.

De fato, com o conteúdo dado por fórmulas complexas e com o domínio das condições de aplicabilidade reservados ao professor, o aluno não resiste a esquecer o seu passado de conhecimentos, e a se entregar com confiança nas mãos do seu mestre, que está bem mais em contato (sobretudo quando pesquisador) com o "saber misterioso", objeto do desejo de todos.

Assim sendo, todas as decisões sobre ensino (programação, texto, conteúdo, exercícios, avaliações, ritmo de trabalho) são tomadas pelo professor, que é o único que conhece o caminho e a meta; a final a diferença entre quem sabe e quem não sabe é qualitativa.

A relação entre alunos é considerada secundária, apesar de ser muitas vezes incentivada por seu papel reforçador e estimulador. Sua importância refere-se fundamentalmente ao aspecto emocional e motivacional e bem pouco ao crescimento intelectual. O motor do crescimento intelectual só pode ser o professor, pois ele é o único capaz de transmitir conhecimentos: apenas reunindo várias pessoas que não sabem física, não se obtém uma visão correta da natureza.

Uma consequência imediata deste pressuposto é que, no ensino, a aprendizagem se dá apenas a nível do aluno. Não há um aumento de conhecimento por parte do professor, para o qual a única novidade pode advir somente dos erros dos alunos, os quais além de tudo, na maioria das vezes são repetitivos.

O sétimo pressuposto, que em boa parte é uma consequência dos anteriores, refere-se ao processo de transmissão da ciência como um todo e norteia a elaboração dos currículos desde a pós-graduação até o segundo grau. É definido pela progressiva redução do conteúdo, acoplada ao seu afastamento daquilo que está sendo produzido pelos pesquisadores.

A Física sofisticada, complexa, precisa, cheia de detalhes e altamente matematizada, que está na mente e nos trabalhos dos pesquisadores, é peneirada e reduzida ao ser proposta para os (futuros)

docentes universitários, que por sua vez assimilam o conteúdo proposto filtrando o que na sua concepção é essencial e abandonando o resto.

Uma nova redução se dá quando os professores universitários tentam ensinar física para seus alunos e (futuros) docentes de 2º grau; uma ulterior e sucessiva redução ocorre quando este conteúdo é assimilado pelos estudantes universitários. Finalmente uma última (e definitiva) redução se dá no ensino de 2º grau, seja por parte dos docentes, que apresentam somente uma parte daquilo que eles sabem, seja por parte dos alunos, que assimilam somente uma parte daquilo que foi ensinado. Nesta última etapa, evidentemente, sobrou muito pouco daquela física que estava na cabeça dos pesquisadores, de forma que qualquer semelhança é mera coincidência.

Finalmente, o oitavo pressuposto, também muito ligado aos anteriores, é que o ensino trata de um conteúdo, produzido pelos cientistas e bem guardado nos livros didáticos, e não da produção do conhecimento. Por isso a atividade docente tem pouco a ver com a atividade de pesquisa. Até certo ponto elas parecem incompatíveis: para pesquisar é preciso ter intuições, às vezes vagas, perseguir idéias abertas, ir e voltar quase sem rumo, explorar imagens, viver com dúvidas; para ensinar é preciso conhecer o "pacote" de forma clara e fechada, expor as idéias de maneira ordenada, completa, e sobretudo tirar as dúvidas dos alunos. Isto significa que a comunidade docente e a comunidade que pesquisa são diferentes, tem valores diferentes, critérios diferentes, e que as vezes entram em conflito, apesar de serem compostas das mesmas pessoas (pelo menos nas Universidades). Evidentemente, nestes conflitos os interesses mais vivos da pesquisa prevalecem.

Este quadro de pressupostos se apresenta como algo orgânico e articulado: podemos resumí-lo em poucas linhas nas quais as imagens fundamentais que caracterizam a visão de ensino atual se complementam e se reforçam mutuamente.

A mente dos alunos é uma "tabula rasa" (em Física) que deve ser preenchida; aprender é "gravar" nesta tabula, "olhando" atentamente para o professor, se exercitando nos exercícios propostos, e sobretudo realizando avaliações que definem o essencial a ser aprendido. Ensinar é fornecer, mediante uma exposição clara e ordenada, o conteúdo a ser gravado: um "pacote" amarrado de fórmulas com alguns exercícios nos quais elas funcionam. Neste processo quem é fundamental e quem o dirige é o docente, o único que está perto do saber a ser aprendido. Por suas características a transmissão do conhecimento científico na escola é marcada por um progressivo "penei

ramento" e afastamento do conteúdo produzido pelos pesquisadores, cuja atividade é totalmente diferente da docência e justifica a existência de uma comunidade com valores diferentes e às vezes conflitantes.

Existem outras razões pelas quais somos induzidos a pensar que a visão de ensino apresentada é muito coerente e resistente às mudanças. Basta observarmos os remédios propostos para melhorar a situação do ensino no Brasil: por trás deles aparece a mesma concepção. Se ensinar e aprender é um processo de progressiva filtragem e se o conteúdo é um "pacote" de fórmulas e exercícios, nada mais apropriado do que aumentar o conteúdo, ou aumentar a motivação dos alunos e sua capacidade de retenção. A introdução de aulas de demonstração, de exercícios resolvidos ou de situações experimentais visa fundamentalmente ampliar ou complementar o conteúdo ensinado. A modificação nos métodos de ensino utilizados, para torná-los mais agradáveis ou mais estimulantes e a modificação nos exemplos introduzidos, tornando-os mais ligados à experiência diária do aluno, visam fundamentalmente motivar os alunos para que estudem mais e aprendam mais facilmente o conteúdo apresentado.

As próprias tentativas de introduzir métodos novos que tornem o aluno mais ativo e mais participante, ou conteúdos novos mais abertos, esbarram, antes ou depois, com a exigência fundamental da comunidade: os alunos aprenderam a aplicar melhor as fórmulas e a resolver mais rapidamente os exercícios? A própria literatura de pesquisa está cheia de comparações entre a "eficiência" do método tradicional (controle) e do método proposto (experimental). Provavelmente o método tradicional é o mais simples, "econômico" e organizado para conseguir os resultados de uma aprendizagem "rotineira": por isso ele é tão largamente utilizado e tão dificilmente substituível.

Os próprios pesquisadores e docentes que com grandes esforços e dedicação conseguiram resultados de aprendizagem diferentes, não facilmente mensuráveis pelas provas tradicionais, depois de um certo tempo desistem: provavelmente não têm consciência que uma mudança estável na prática de Ensino de Física só poderá ser obtida mexendo em todos os pressupostos, modificando todos os elementos da prática tradicional e que, portanto, este trabalho deverá ser coordenado num projeto abrangente realizável em etapas sucessivas.

No próximo item tentaremos colaborar com este projeto propondo uma visão de ensino diferente, ou seja, baseada em pressupostos diferentes.

2. UMA VISÃO ALTERNATIVA DE ENSINO DE FÍSICA

O esboço de "modelo" de ensino de Física que apresentaremos neste ítem é compatível com as teorias de conhecimento e de instrução de tipo cognitivista⁽⁴⁾, com muitos resultados de pesquisas em ensino de Física, História da Ciência e Filosofia da Ciência, com as expectativas de participação de alunos e professores, e com a possibilidade de cooperação entre pesquisadores em física e docentes.

Em primeiro lugar, a mente dos alunos não é "tabula rasa": além das mais do que conhecidas "estruturas mentais" piagetianas, existe um conjunto de idéias espontâneas⁽⁵⁾ cujo conteúdo diz respeito exatamente à Física que se quer ensinar. São idéias bem enraizadas e em boa parte articuladas, que aparecem quando os alunos são colocados em situações mais livres e diante de questões mais qualitativas: elas têm pouco em comum com as que se pretende ensinar ou que já foram ensinadas; este pelo menos é o resultado das pesquisas sobre concepções espontâneas com alunos de segundo e terceiro grau, e com os já graduados.

Essas idéias podem ser vistas como um átomo: há um núcleo de idéias centrais, bem sólidas e estruturadas em contínuo movimento de realimentação recíproca; há outro conjunto de idéias mais ou menos periféricas, vinculadas ao núcleo que com ele mantêm eventuais trocas. Finalmente há idéias soltas que se orientam em sentidos diferentes e adquirem significados diferentes dependendo das circunstâncias: são como os elétrons de condução de um metal e podem ser abandonadas com facilidade.

Em segundo lugar aprender não é "gravar" numa tábua.

Toda a estrutura conceitual é dinâmica e as experiências quotidianas são um contínuo bombardeio que modifica esta estrutura com maior ou menor facilidade, dependendo dos impactos que a pessoa sofre.

Algumas informações passam por nossa mente sem deixar vestígios relevantes: outras nos excitam momentaneamente, outras permanecem de forma periférica e outras modificam a nossa estrutura profundamente⁽⁶⁾.

O importante dessa analogia é o caráter dinâmico do nosso conhecimento: a estrutura conceitual não é como a estrutura de um prédio. Pode ser mais sólida do que a de um prédio, mas é uma solidez que vem de um movimento contínuo e rápido: como num giroscópio. Uma determinada teoria pode ser reduzida à sua estrutura, caracterizando os elementos fundamentais e as relações entre eles: o conjunto é definido, fechado, fixo, claro e completo. É o resultado do trabalho de construção de uma rede que, uma vez completado, se auto

-sustenta. No entanto, quando a estrutura da teoria se torna um elemento ou um conjunto de elementos de uma estrutura conceitual mais ampla, ela é revestida imediatamente de uma série muito grande de relações com os elementos restantes da estrutura conceitual. Com isso ela adquire movimento e abertura, pois pode ser questionada, comparada com outras estruturas de outras teorias, e confrontada com a maneira de obtê-la ou de utilizá-la. Em suma, um objeto estático, ao ser incorporado na mente, tem que interagir com muitos outros elementos da estrutura conceitual, adaptar-se a eles, de um lado adquirindo um significado mais abrangente, e do outro lado adquirindo abertura, movimento e consciência.

Então para aprender bem é preciso "pensar". Deixar que as informações penetrem e se confrontem com tudo aquilo que já conhecemos. É preciso fazer sínteses e traduzí-las em imagens. Sobretudo, é preciso deixar que surjam as dúvidas, pois elas são o sintoma de que está havendo uma reformulação interior. Evidentemente não somos contra os exercícios: eles servem exatamente para provocar dúvidas, para mexer mais fundo. Somos contra a utilização dos exercícios unicamente como uma tabuada.

O terceiro elemento é consequência dos dois anteriores. A arte de ensinar é como a arte de bombardear bem a fundo um átomo. É a arte de escolher as idéias certas, nos contextos certos, para penetrar no núcleo dos alunos e envolvê-los na aprendizagem. É fornecer informações que possam questionar o aluno. Às vezes serão informações singulares, às vezes serão articuladas: nunca deverão ser tão articuladas que não possam ser questionadas. Então nunca vamos poder ensinar teorias complexas?

O problema não é a complexidade da teoria, mas a incapacidade de reduzi-la a algo mais simples, que possa ser olhado como um todo e comparado com outras idéias já assimiladas.

Um exemplo disso pode ser encontrado no ensino da Teoria da Relatividade Restrita. As transformações de Lorentz prevêem as defasagens dos relógios, a sincronização relativa, a dilatação do tempo e a contração das distâncias. Depois de várias aplicações os alunos conseguem perceber como funcionam e como calculá-las. Mas o aprofundamento significativo se dá quando o aluno percebe que cada observador pode explicar suas medidas e as medidas dos outros somente considerando-se como um referencial privilegiado⁽⁷⁾. Ao contrário, na teoria do éter, o referencial privilegiado é unicamente o referencial solidário com o éter. E estes tipos de idéias criam dúvidas. São essas idéias simples que podem penetrar no núcleo e se acomodarem; e todas as informações complicadas a elas referentes es-

tarão amarradas estavelmente ao núcleo. Em caso contrário, teremos um conjunto de idéias complicadas vagando na mente à procura de um lugar. E seu destino inevitável é o esquecimento. Jogar fórmulas e exercícios em cima dos alunos sem nenhuma preocupação objetiva de torná-las significativas e articuladas com as idéias do núcleo só pode dar nisso. Quando se quer ensinar como funciona uma lei física, se dá um exemplo: se o aluno aprende o exemplo, sabe mais do que o simples conjunto de símbolos matemáticos. No entanto, multiplicando os exemplos não necessariamente se conhece melhor como e quando uma fórmula funciona. Para tanto, é preciso transformá-la de um objeto estático (o conjunto de símbolos e relações) num objeto dinâmico, em princípio de aplicações, que envolve a relação dessa fórmula com tudo aquilo que a gerou e com tudo aquilo que está na estrutura de quem aprende. A fórmula deve interagir e se acomodar ao resto da estrutura mais ativa do estudante.

Evidentemente o aluno pode fazer por conta própria o trabalho de aprofundamento: mas isso não é comum. Um aluno deste tipo aprende independentemente de qualquer ensino escolar e com qualquer docente; no entanto, a grande maioria dos estudantes tem sua aprendizagem de Física regulada e modelada pelo ensino que recebe e por seu conteúdo.

Retomando a nossa analogia, ensinar Física, do ponto de vista do professor, é "bombardear" o aluno com várias e progressivas informações científicas ou relativas à ciência, de forma a facilitar o trabalho progressivo de análise e síntese do aluno, sendo que ao final do processo as suas concepções mais profundas sejam atingidas e transformadas, permeando a própria visão de mundo. Nesta nova visão as idéias científicas deverão ter um papel significativo e em harmonia com o restante das idéias básicas.

Nesta tarefa um elemento novo, que não pode ser esquecido por parte do docente, é o efeito coletivo da aprendizagem devido à interação na classe.

Se nos for permitido abusar da analogia, podemos dizer que existem forças "de troca" entre os vários elementos que provocam efeitos de "ressonância" capazes de aumentar e condicionar fortemente a aprendizagem de cada um. Saber suscitar e orientar estas trocas é também um dos segredos da arte de ensinar.

O quarto elemento também é extremamente importante e merece uma discussão detalhada: o conteúdo do Ensino de Física. Ele deve respeitar a natureza da Física como Ciência e deve envolver aspectos concretos de interesse dos alunos.

A Física como Ciência não é somente um conjunto de fórmulas

que funcionam em exemplos abstratos. Ela é constituída de teorias e experimentos. As teorias como um todo, por sua vez, são constituídas de fórmulas e exemplos significativos e da "heurística".

A "heurística" de uma teoria engloba não somente a estrutura da teoria que privilegia algumas noções como centrais e outras como derivadas, mas também as hipóteses implícitas, as imagens relevantes, a maneira de enfrentar seus problemas e a sua visão de mundo mais profunda (8).

Vejam os alguns exemplos dessa análise em teorias famosas.

A teoria de Newton. O "pacote" é dado pelas três leis que têm o seu nome, e exemplos significativos são os casos nos quais é possível localizar partículas com massa sujeitas a determinadas forças. E o resto? Sua concepção de tempo absoluto, homogêneo, que flui continuamente sem relação com o mundo, sua concepção de espaço absoluto que define o que é um referencial inercial; a equivalência entre repouso e movimento uniforme; a interação instantânea; a primazia das noções de força e de partícula material; a possibilidade de velocidades sem limites; a idéia de massa como medida da inércia e como fonte de força gravitacional; a redução de toda a natureza a partículas ou algo de equivalente; a possibilidade de vácuo entre as partículas, etc..

A teoria de Lorentz (9). O "pacote" é dado pelas equações de Maxwell e pelas transformações de Lorentz e exemplos significativos são fornecidos pelos fenômenos eletromagnéticos. Sua "heurística": sua concepção de tempo absoluto ligado ao éter e tempo "local" ligado à sincronização de relógios; a idéia de espaço absoluto identificado com o éter, que constitui o substrato universal único, contínuo e capaz de transmitir todas as forças da natureza; as idéias de massa como sub-produto da interação eletromagnética entre carga e éter; a primazia das idéias de éter (contínuo) e de elétron (carga discreta); a idéia de campo eletromagnético como modificação do éter; a redução de todos os fenômenos a uma base eletromagnética; etc..

A teoria da Relatividade Restrita (10). O "pacote" é dado pelas transformações de Lorentz (junto com a invariância de velocidade da luz e o princípio da Relatividade) e pelas leis de conservação da energia e do momento linear (e angular). Sua heurística: a intrínseca inteligibilidade física do movimento uniforme; a eliminação do éter, do espaço absoluto; a concepção de tempo intrinsecamente relativo; a conservação da causalidade física, a primazia das idéias de simetria e de covariância; o seu não comprometimento com nenhum modelo microscópico; etc..

Acreditamos que, somente com uma discussão aprofundada des-

tes aspectos possam os vários "pacotes" tornar-se expressões vivas de determinadas maneiras de olhar a natureza. E é através desses aspectos que as teorias se tornam uma parte e uma contribuição a uma cultura humana, incorporando-se à maneira da humanidade gerir e organizar seus valores e seus significados.

Numa visão reducionista da Física como a atualmente utilizada no ensino, as leis de Newton são uma aproximação das fórmulas relativísticas, e as teorias de Lorentz e Einstein diferem-se em quase nada.

Numa visão mais cultural, dentro da teoria de Newton, as leis do eletromagnetismo devem ser explicadas com um modelo mecânico de éter particulado. Ao contrário, na Teoria de Lorentz a mecânica deve ser modificada e reduzida à interação entre o éter contínuo e as cargas discretas. Na teoria de Einstein as leis para serem verdadeiras devem ser covariantes: as leis da mecânica e do eletromagnetismo devem ser unificadas numa única visão básica (ou de campo ou discreta); esta unificação começa com a identificação da massa com a energia "de repouso" de um corpo.

Para mostrar como a união de fórmulas, exemplos e "heurística" compõe um todo vivo, é interessante observar como os físicos teóricos trabalham, mexendo por longos períodos com fórmulas e cálculos que parecem muito áridos. O segredo é que atrás de fórmulas e cálculos há um "coração" vivo que pulsa. Os físicos escrevem números e símbolos, mas números e símbolos se referem a uma teoria ou a um modelo com o qual em geral eles se sentem em "ressonância". As teorias e modelos dos físicos são chelos de imagens que representam o elixir de um olhar fundo na natureza. Por exemplo, quando um físico trabalha com as fórmulas (complicadas) das teorias de "gauge", na sua imaginação vibram e interagem os "glúons", os "quarks" ou as simetrias embutidas nas próprias fórmulas.

Além de teoria, a Física é também experimentação. A experimentação, a grosso modo, se preocupa com a precisão sempre maior de suas medidas, com a invenção de situações que permitam testar o poder de previsão das teorias e com o fornecimento de dados abundantes em áreas novas nas quais não existem ainda teorias sólidas.

Estas três funções são fundamentais; elas devem ser de alguma forma incorporadas no ensino de laboratório, não somente para tirá-lo da situação de marginalização crônica na qual ele se encontra na totalidade de nossas escolas, mas sobretudo para que os alunos possam construir uma imagem apropriada da Física.

Quanto ao envolvimento no ensino de aspectos concretos de interesse do aluno, acreditamos que existem duas vertentes a serem ex

ploradas: a História da Física e a fenomenologia física familiar ao aluno.

A História da Física, visualizando o contexto e a problemática de experimentos e de invenções teóricas, torna a física mais próxima dos alunos, sobretudo os que estão terminando sua formação.

A utilização dos fenômenos físicos familiares torna a física não somente uma cultura viva, mas também uma cultura útil: este aspecto é particularmente importante para o ensino de segundo grau, que constitui para a maioria dos estudantes o último (às vezes único) contato com o Ensino de Física.

O quinto elemento a ser modificado refere-se à avaliação. Todos sabem como ela determina aquilo que é o mais importante a ser aprendido, aquilo que é fundamental. Permanecendo no estilo atual, repetição de exercícios feitos em sala de aula ou em casa, os efeitos da mudança no ensino não serão percebidos. O importante é introduzir na avaliação a possibilidade de um trabalho pessoal do aluno: resumos de publicações pertinentes ao assunto tratado e, sobretudo, sínteses pessoais que expressem a visão que o aluno tem da teoria proposta. Evidentemente estas avaliações não podem ser realizadas em poucas horas numa sala fechada e num horário determinado. Somos francamente favoráveis à introdução de trabalhos de fim de curso, não padronizados, que mostrem a capacidade de comunicação do aluno. Evidentemente isso complica a vida da burocracia escolar e do professor (e também do aluno): mas é um tributo a ser pago pela falta de tradição cultural da escola brasileira que, ao copiar padrões americanos, esqueceu totalmente sua ligação profunda com os costumes da população. A necessidade de avaliações padronizadas que, provavelmente, é um elemento de seleção objetiva nos Estados Unidos, torna-se no Brasil uma contribuição para a depauperação e o subdesenvolvimento cultural. A modificação do conteúdo e da avaliação tem conseqüências marcantes na atividade do professor, o qual não poderá se limitar a apresentar o conteúdo de forma clara e didática, mesmo que ele fale também da "heurística". Para fortalecer a capacidade de imaginar a Física, de sintetizar e de perceber o que está implícito no formalismo, nos exemplos e nas teorias, e facilitar a integração dessas noções com a estrutura conceitual, o professor deverá dar espaços para que os alunos se conscientizem e revelem suas idéias. Isso implica num trabalho em sala de aula e em casa que envolve sínteses, debates, análises, discussões e previsões qualitativas, leituras e seminários. Isso implica também numa mudança da relação professor-aluno.

O sexto elemento que constitui um dos pilares da nova visão

de ensino, é a relação pedagógica entre professor e alunos que deverá perder um pouco do seu enfoque hierárquico na "iniciação" ao "saber glorioso", para absorver um pouco do espírito de "colaboração". A introdução de elementos novos no ensino, oriundos de disciplinas diferentes da Física, como História e Filosofia da Ciência e análise de concepções espontâneas faz do professor uma fonte apenas parcial, de informação específica reservando-lhe também o papel de colaborador, animador e crítico: colaborador, na localização das fontes de conhecimento a serem consultadas; animador na proposta de atividades variadas; e crítico, na avaliação dos trabalhos desenvolvidos pelos alunos. Crítico seja no sentido de levantar, reforçar e ampliar os elementos positivos e originais, seja no sentido de apontar as falhas, discutí-las com os alunos e encaminhar modificações.

Nesta nova maneira de focar a relação pedagógica um papel importante caberá à relação entre os alunos. Ela não se restringirá unicamente ao aspecto emocional de aumentar a motivação para o estudo, mas envolverá diretamente a aprendizagem contribuindo em duas frentes. Em primeiro lugar, facilitando a compreensão profunda das idéias novas, através das discussões efetuadas num nível e com uma linguagem mais próxima da linguagem significativa de cada aluno. Neste intercâmbio entre alunos a conscientização sobre a Física "espontânea" de cada um será auxiliada pela maior liberdade de expressão. Em segundo lugar, a interação entre professores e a classe poderá criar uma espécie de "núcleo coletivo", ou seja, conjunto de idéias básicas, maior do que o "núcleo" conceitual de cada um e na qual cada um poderá se apoiar para entender as novas idéias. A familiarização rápida com este núcleo se constituirá num crescimento das possibilidades de aprendizagem significativa das novas idéias.

Uma outra consequência da mudança na relação entre professores e alunos será enriquecer o conhecimento do professor. É verdade que o professor não aprenderá mais fórmulas; no entanto, terá grandes possibilidades de aumentar a compreensão do significado profundo das mesmas entrando em contato com o material histórico e com as interpretações apresentadas pelos alunos. Os cursos sobre um determinado conteúdo serão a ocasião, não somente para um aprofundamento do professor sobre a estrutura conceitual de uma determinada teoria, mas também para uma ampliação e renovação de sua cultura.

O sétimo elemento é a nova postura na transmissão da ciência, e consequentemente, na elaboração do currículo nos vários níveis. Atualmente, como em parte já acenamos, se dá uma progressiva redução do conteúdo, desde a física dos físicos até a física dos a-

lunos de 2º grau, devida em boa parte à ênfase no formalismo. Mas junto com essa redução do conteúdo e afastamento das fórmulas complicadas dos físicos, se dá também um afastamento das concepções básicas nelas embutidas e das idéias mestras que orientam a pesquisa. Como consequência ficam as fórmulas (bem reduzidas) sem significado vivo; o resultado é bem conhecido: os alunos e (em boa parte) os docentes de 2º grau tem na sua cabeça um conjunto de noções de física bem soltas e marginalizadas, incapazes de resistir ao choque com outras idéias e, até mesmo, ao tempo. Simultaneamente continuam com suas idéias centrais "espontâneas" inalteradas, como bem atestam suas respostas a testes qualitativos e suas participações em cursos de extensão universitária.

Como modificar os currículos?

De um lado dando mais peso às teorias enquanto conjunto provisório: devemos assumir que a Física é provisória, ensinando a Teoria de Newton, ou de Lorentz ou de Einstein ou qualquer outra. As idéias básicas são acessíveis (pelo menos em parte) em todos os níveis, o formalismo poderá ser progressivamente complicado. De outro lado dando mais peso às idéias dos alunos: confrontando-as com a fenomenologia do cotidiano, porque é nesse confronto que as idéias "espontâneas" podem ser questionadas mais facilmente. Evidentemente se a formação do aluno, desde o segundo grau até a pós-graduação, envolve a explicitação das idéias básicas das teorias, todo o trabalho de síntese dos alunos será uma contribuição para a sua formação como futuros docentes, independente do nível em que forem ensinar. Quando um aluno de graduação explicita sua visão sobre as idéias básicas de uma teoria e mostra como elas funcionam num determinado fenômeno, não somente está contribuindo para melhorar o seu entendimento, mas também está oferecendo opções e subsídios para os professores e para o ensino de segundo grau ou de primeiro grau.

Esta mudança de visão sobre o currículo envolve também uma preocupação maior com os professores de segundo grau não somente durante a formação, mas também durante o exercício de sua profissão: esta preocupação deverá se concretizar em formas de interação mais estáveis e mais institucionalizadas entre os professores de segundo e de terceiro graus para a promoção de uma reciclagem sobre os "pacotes" das teorias e suas "heurísticas" e para uma troca de experiências e de avaliações sobre as novas práticas utilizadas em sala de aula e fora dela.

Finalmente o oitavo elemento consiste numa reconciliação, pelo menos em boa parte, do trabalho de pesquisa com o de docência. Esta colaboração se dá em duas direções: de um lado a pesquisa em fí-

sica ajuda a levantar as imagens e os pressupostos e os rumos das teorias utilizadas, de outro lado a docência, pondo o pesquisador em contato com material sempre novo fornecido pelos alunos e por seus trabalhos, o ajudará a questionar seus pressupostos de forma mais sistemática.

É de se supor que esta colaboração não somente acabe com a dicotomia que muitos pesquisadores sentem quando pensam na sua atividade docente, mas sobretudo contribua para tornar o ensino mais vivo e mais ligado à cultura de seu tempo. O Brasil é tão limitado no que diz respeito à pesquisa em ciência e é tão necessitado quanto à aprendizagem que não pode se permitir o luxo de desprezar a contribuição de pesquisadores na formação científica de seus estudantes e de seus docentes.

Com isso terminamos o esboço de uma nova concepção de Ensino de Física cujas imagens mais importantes podem ser articuladas em poucas linhas.

A mente dos alunos é como um átomo, com um núcleo de idéias centrais e uma série de idéias mais ou menos marginais: a aprendizagem se dá quando as novas idéias conseguem interagir com as já existentes, sobretudo as mais centrais. O ensino deverá facilitar este processo fornecendo conteúdos adequados e sugerindo atividades estimuladoras e questionadoras, e propondo avaliações que propiciem e revelem a síntese operada. O conteúdo adequado será composto das teorias físicas, incluindo o "pacote" de fórmulas e exercícios básicos e a "heurística" constituída das imagens e dos pressupostos fundamentais da teoria e de um laboratório que respeite a função da experimentação na Física. Neste processo a relação entre professor e alunos assumirá características de colaboração na produção de trabalhos que poderão auxiliar a docência e o ensino nos níveis iniciais. Desta forma se dará uma integração entre os vários níveis de ensino pela contínua re-elaboração das idéias básicas utilizadas na pesquisa, por sua comparação com os conteúdos "espontâneos" dos alunos e pela sua utilização no entendimento dos fenômenos quotidianos. Também se dará uma dúplici colaboração entre pesquisa e ensino ao nível das idéias fundamentais e de seu questionamento.

3. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

A análise dos pressupostos da prática quotidiana do ensino de Física no Brasil nos levou a um esquema articulado capaz de dar conta não somente da prática normal do ensino, mas também do enfoque de várias pesquisas metodológicas e das razões do fracasso de al

gumas tentativas de melhoramento. Este mesmo esquema forneceu indicações sobre pilares fundamentais a serem modificados para a construção de um novo ensino de Física compatível com os resultados e as interpretações de várias pesquisas interdisciplinares e também com as expectativas de alunos e professores, na linha de uma prática mais significativa.

Esperamos que nossa crítica ao domínio do formalismo não seja interpretada como uma luta para eliminá-lo de nossas escolas. Estamos conscientes que em Física o formalismo é indispensável para que o entendimento das teorias não seja superficial, ou somente qualitativo. Em nossa opinião conhecer fórmulas e exercícios padronizados é melhor que não conhecer nada, ou que conhecer somente as idéias básicas, porque isso significaria desprezar o fato de que em Física as idéias básicas se traduzem em fórmulas e de que as fórmulas são fundamentais para obter previsões bem aproximadas e compará-las com resultados experimentais. Conhecer as fórmulas e seu uso é indispensável para conhecer seu significado mais profundo. Nossa crítica se dirigiu fundamentalmente ao uso fechado de fórmulas e exercícios e à visão fechada de ensino que os acompanha.

É difícil pensar como seria uma prática coerente com a nova visão de ensino proposta, sobretudo porque ninguém a tentou de maneira global. Esta prática coerente será construída aos poucos pelas pessoas que acreditarem nessa nova visão e se esforçarem para trazê-la no dia a dia.

Nosso trabalho foi essencialmente uma reflexão teórica apesar de ter em parte assimilado o resultado de várias experiências concretas de ensino e pesquisa que, em nossa opinião, muito contribuíram para adequar as propostas à nossa realidade. Por isso achamos importante vislumbrar alguns tipos de atividades que poderiam encaminhar na prática, professores e alunos, não somente à concretização dessa nova visão de ensino, mas também à sua discussão.

Usando como exemplo o ensino a nível de terceiro grau, seria interessante desenvolver e analisar as seguintes atividades e seus efeitos concretos:

- Encontrar material que ajude os alunos a expressarem suas idéias básicas a respeito dos fenômenos que a teoria pretende explicar.
- Levantar referências bibliográficas simples e básicas em relação à teoria e seus pressupostos.
- Propor experimentos com uma precisão determinada a ser alcançada.
- Explorar os resultados experimentais diferentes obtidos pelos alunos, seja no sentido de procurar suas razões experimentais, seja no sentido de elaborar modelos teóricos que os "expliquem".

- Propor leituras e eventualmente elaborar textos que se constituam no primeiro encontro entre os alunos, as leis fundamentais que se quer ensinar e os exercícios e exemplos significativos.
- Levantar exemplos no cotidiano nos quais a teoria funciona e compará-los com a Idéias "espontâneas".
- Propor a elaboração da estrutura da teoria, na qual cada aluno escolherá as noções centrais e as periféricas e discutir as várias articulações possíveis.
- Encontrar referências sobre a gênese da teoria e as condições teóricas, culturais e experimentais na qual ela nasceu.
- Levantar e discutir os limites da teoria e tentar uma relação entre limites e pressupostos.
- Realizar sínteses finais nas quais os autores tentarão apresentar de forma simplificada o que aprenderam a respeito da teoria, para alunos de 2º grau.

Evidentemente este esquema poderá ser criticado seja no sentido de apontar contradições ou falhas, seja no sentido de salientar pontos a serem mais explorados, seja no sentido de complementar com ulteriores elementos fundamentais por ventura esquecidos.

Em qualquer uma dessas circunstâncias a nossa contribuição não terá sido desprezível e o eventual debate terá sido altamente incentivador para a busca de um novo ensino. Neste debate, e sobretudo no esforço de construir a nova prática dos docentes e dos alunos do futuro, está baseada a esperança não somente de que as gerações futuras de docentes serão mais cultas e mais preparadas para ensinar física, mas também de que as futuras gerações de pesquisadores estarão mais preparadas para contribuir para eventuais revoluções científicas, pois não foram treinadas tendo em vista única e exclusivamente a "ciência normal"⁽¹¹⁾ tão bem descrita por Kuhn.

REFERÊNCIAS E NOTAS

- (1) Este trabalho corresponde à ampliação e reformulação de seminários proferidos no Departamento de Física da UnB e no IFUSP.
- (2) Esta análise, que pretende ser qualitativa, é baseada principalmente na nossa experiência de docência e de pesquisa em Ensino de Física e nos relatos e discussões de vários colegas, orientados e alunos.
- (3) Uma descrição detalhada das relações pedagógicas entre professores e alunos num curso básico de física pode ser encontrada em:

R. Kishinami, "Análise das Relações Institucionais num Curso Básico de Física". Dissertação de Mestrado IFUSP-FEUSP, 1982. Um breve resumo dos resultados está em A. Villani; J.L.A. Pacca; R.I. Kishinami e Y. Hosoume, "Analisando o Ensino de Física: Contribuições de Pesquisas com Enfoques Diferentes", Rev. Ens. Fís. (1982) pp. 23-51.

- (4) Estamos nos referindo principalmente às teses piagetianas de que a aprendizagem se dá por sucessivas "assimilações" e "acomodações" e que, no conhecimento, o conteúdo e o sujeito apresentam um "isomorfismo".
- (5) Uma resenha dos trabalhos desenvolvidos na área de concepções "espontâneas" pode ser encontrado em: "Recherche en didactique de la Physique: les Actes du Premier Atelier International", La Londe les Maures, ed. CNRS, 1983.
Em português:
A. Zylbersztajn, "Concepções Espontâneas em Física: Exemplos em Dinâmica e Implicações para o Ensino", Rev. Ens. Fís. 5(2) (1983) pp. 3-16.
A. Villani, J.L.A. Pacca e Y. Hosoume: "Concepções Espontâneas sobre o Movimento", Publ. IFUSP/P-489.
- (6) Evidentemente a analogia não dá conta de todas as possibilidades envolvidas na aprendizagem humana, sobretudo porque ela não focaliza a participação do elemento emocional nas modificações da estrutura conceitual.
- (7) A discussão do problema de reciprocidade dos efeitos relativísticos e uma tentativa de interpretação está em:
A. Villani, "Dilatação do Tempo e Contração das Distâncias: Uma Discussão Didática", Rev. Ens. Fís. 6(1) (1984) pp. 3-17.
- (8) Não é nossa intenção desenvolver uma definição rigorosa daquilo que entendemos por "heurística" (aquilo que numa teoria guia os passos de seu desenvolvimento e de sua ampliação), pois ela assume significados diferentes nas várias teorias da ciência; somente pretendemos chamar a atenção para aquele fundo e contorno de cada teoria que a torna uma expressão de uma determinada maneira humana de entender a natureza.
- (9) Uma exposição detalhada da teoria do elétron de H. Lorentz pode ser encontrada em:
R. McCormack, "H.A. Lorentz and the Electromagnetic View of Nature", Isis 61 (1970) pp. 459-497.

Em português:

A. Villani, "O Confronto Lorentz e Einstein e suas Interpretações. II. A Teoria de Lorentz e sua Consistência", Rev. Ens. Ffs. 3(2) (1981) pp. 55-76.

- (10) Uma exposição da teoria de Einstein com a preocupação em ressaltar sua heurística, pode ser encontrada em:

E. Zahar, "Why did Einstein's Programme Supersede Lorentz's", Bret. Jour. Phil. Sc. 24 (1973) pp. 223-262.

Em português:

A. Villani, "O Confronto Lorentz e Einstein e suas Interpretações. III. A Heurística de Einstein", Rev. Ens. Ffs. 3(3) (1981) pp. 23-47.

- (11) Para Kuhn, ciência "normal" é a atividade científica desenvolvida em períodos nos quais não há questionamento por parte dos cientistas acerca dos pressupostos, das idéias básicas e da metodologia de pesquisa da teoria dominante. Ao contrário, a ciência "extraordinária" é aquela que se realiza nas épocas nas quais se questionam os pressupostos e as linhas mestras da teoria dominante.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos todos os que colaboraram, lendo, criticando e dando sugestões nas várias e sucessivas redações deste trabalho: I.L. Caldas, Y. Hosoume, M.R. Kawamura, R.I. Kishinami, M.C. Mariani, J. L.A. Pacca, M.R. Robilotta, A.P. Salvetti, J.A.F. Saraiva, S.K. Teixeira, S.M. Villani.