

CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIA⁽¹⁾
- A interdisciplinaridade -

A. Villani
Instituto de Física - USP

INTRODUÇÃO

A prática comum nas publicações sobre Ensino de Ciência em geral e de Física em particular é a exposição de resultados específicos acumulados através de pesquisas específicas: relativamente raros são os artigos de debate sobre os próprios trabalhos, no sentido de aprofundar as idéias, às vezes apenas ventiladas, ou as bases teóricas utilizadas; mais raros ainda têm sido a discussão e o aprofundamento do significado do trabalho de pesquisa em Ensino de Física num contexto mais amplo.

A finalidade deste trabalho é propor uma discussão explícita sobre a natureza e o significado da pesquisa em Ensino de Física, para poder delinear perspectivas gerais do seu desenvolvimento no Brasil: ele se endereça principalmente a pesquisadores e professores que desenvolvem pesquisas na área ou, pelo menos, utilizam de alguma forma os seus resultados, e também aos professores que, mesmo não tendo ligações diretas com a área, desenvolvem cotidianamente a sua tarefa de docentes de Física no segundo e no terceiro graus.

A pretensão parece, à primeira vista, pouco modesta; no entanto se entendermos a nossa meta como tentativa, não de oferecer as palavras definitivas sobre o assunto, mas de estimular um debate, a nossa tarefa torna-se bem mais viável, pois para isso é necessário que apenas alguma parte do trabalho seja significativa para os interlocutores. O trabalho será dividido em duas partes: na primeira tentaremos discutir a natureza e as características mais significativas da pesquisa em Ensino de Física, procurando inclusive compará-las com as da pesquisa em Física e em Educação no sentido mais geral; na segunda parte esboçaremos algumas idéias sobre o significado social desta pesquisa e discutiremos as perspectivas de desenvolvimento com algumas pinceladas de uma política a respeito.

I. Natureza da pesquisa em Ensino de Ciência

Quando se tenta determinar o que é específico numa dada atividade, os pontos de partida podem ser diferentes: pode-se começar com

a análise da sua gênese e do seu desenvolvimento, ou com uma comparação com atividades mais ou menos análogas, ou com uma generalização a partir de exemplos. No nosso caso o problema é complexo, pois a tradição da pesquisa é pouca e a sua institucionalização precária: então, mesmo com o risco de ser uma repetição, consideramos importante salientar os vários pontos de vista, na esperança de que o debate seja mais profícuo e a análise mais abrangente, possibilitando uma síntese mais fundamentada. Por isso, a caracterização será feita começando com uma rápida descrição de sua gênese e do seu desenvolvimento, passando para uma primeira tentativa de definição e separando aquilo que é pesquisa em Ensino de Física daquilo que só indiretamente está ligado a ela; continuaremos com uma comparação desta com a pesquisa em Física e em Educação e terminaremos com uma discussão explícita sobre o significado da sua interdisciplinaridade.

1.1. Gênese e desenvolvimento da pesquisa em Ensino no Brasil

Nos últimos 15 anos houve um desenvolvimento científico notável no Brasil, principalmente no sentido de aumentar o número de pesquisadores, ampliar o número de centros de pesquisa até então restritos aos grandes centros urbanos e aprofundar os tipos de pesquisa, conseguindo uma certa competitividade com o exterior.

É pensamento comum de vários analistas⁽²⁾ que este fenômeno está ligado a instauração e institucionalização da pós-graduação, que se tornou um programa com notável impacto social não só pelas consequências no mercado de trabalho, mas também pela introdução e cristalização de novos valores acadêmicos e novos critérios de análise.

Nas Ciências Exatas, o programa de pós-graduação associou-se a um programa de capacitação para a orientação de pesquisas, obtido em boa parte com uma especialização no exterior: o efeito mais evidente foi a rápida formação de quadros de pesquisa com pessoal que, voltando ao Brasil com um PhD americano ou europeu, trazia consigo uma boa dose de autoconfiança e um bom número de projetos de pesquisa a serem desenvolvidos.

No caso específico da Física a especialização ligada ao exterior começou com as origens da pesquisa no Brasil, seja convidando pessoal de alto gabarito para desenvolver pesquisas, seja enviando pessoas para os centros do hemisfério norte. Essa antecipação permitiu um desenvolvimento mais rápido da pós-graduação, levando nestes últimos anos a comunidade dos Físicos a um maior rigor e a uma progressiva diminuição percentual no número de doutoramentos no exterior: atualmente o programa mais defendido é o de pós-doutoramento no exterior e de intercâmbio sistemático entre pesquisadores brasileiros e do hemisfério nor

te.

No caso das pesquisas em Educação também houve um grande desenvolvimento, que se prolongou até o final da década de setenta; este aumento numérico provavelmente esteve ligado num primeiro momento e em boa parte a importação de metodologias e objetivos do exterior, principalmente dos Estados Unidos, e coincidiu com uma proliferação e fragmentação dos temas pesquisados⁽³⁾. No entanto, nestes últimos anos não faltaram tentativas de descobrir linhas próprias, mais ligadas à cultura local.

Num clima geral de euforia científica e de institucionalização da pesquisa, e num período de ampla preocupação com a qualidade do ensino, com as dificuldades advindas de uma nova legislação e da crise de 68, e com os problemas ligados à nova forma da licenciatura, surgiram em São Paulo e Porto Alegre duas pós-graduações em Ensino de Física. Elas tinham como objetivo principal oferecer para docentes de Física de nível universitário e secundário a possibilidade de obtenção de vários graus acadêmicos através de uma pesquisa cuja expectativa era a racionalização, a melhoria da qualidade e da eficiência no Ensino de Física. O surgimento de vários grupos de pesquisa em Ensino de Física não se limitou aos centros de pós-graduação, mas praticamente abrangeu quase todo o país⁽⁴⁾; no entanto, esta primeira fase de ampliação não foi sem dificuldades, incompreensões e atritos entre os físicos, os educadores e os representantes desta nova linha de interesse e de pesquisa. É interessante, para uma melhor compreensão da situação, sintetizar os argumentos de uma disputa, que talvez ainda não tenha sido completamente absorvida.

Na maioria das vezes por parte dos físicos se objetava:

- a) Que neste tipo de pesquisa faltavam critérios objetivos com os quais reconhecer um trabalho sério e rigoroso (aliás era desconfiança bastante difundida que os trabalhos desenvolvidos até então não manifestavam esta característica).
- b) Que o interesse principal das pessoas que se dedicavam à pesquisa em Ensino de Física concentrava-se na aplicação de técnicas metodológicas em sala de aula, sem se preocupar com o conteúdo ministrado e com o seu grau de refinamento. Por isso, sustentava-se que um pesquisador em Ensino de Física deveria ser também um pesquisador em Física, para poder localizar na fonte os pontos mais significativos e os elementos mais intuitivos a serem ensinados.
- c) Que o crescimento da área, pelo menos em alguns centros, era "anormal", e levantava a perspectiva de descaracterização

dos Institutos de Física nos quais se realizava, afastando os da sua tradição de pesquisa: uma posição mais radical negava a legitimidade da existência de um grupo de pesquisa em ensino num Instituto de Física, mesmo em se tratando de um grupo pequeno.

Não se pense que a pesquisa em Ensino de Física fosse recebida com apoio incondicionado por parte dos educadores: ao contrário se friava que as bases teóricas educacionais dos trabalhos na área eram fracas e sobretudo que faltava uma inserção desses trabalhos dentro do contexto geral das pesquisas em Educação.

Estas críticas não passaram sem efeito⁽⁵⁾, e contribuíram para esfriar o entusiasmo dos pesquisadores em Ensino de Física e para diminuir, pelo menos por um certo período, o ritmo das atividades⁽⁶⁾.

Mas a crise não teve somente efeitos negativos sobre os grupos que se dedicavam a esta atividade: é nossa opinião que alguns grupos saíram fortalecidos não somente pela consciência mais clara da opção feita, mas sobretudo pelo aprofundamento da importância social e/ou das exigências e das características mais significativas dessas atividades.

Nesse esforço de encontrar a própria identidade e especificidade, sem dúvida foi de grande auxílio o contato sistemático ou esporádico de alguns grupos com outras áreas de pesquisa: assim alguns problemas, sobretudo técnicos, foram resolvidos de forma análoga à utilizada nas outras áreas (por exemplo: no tratamento de experimentos com estatísticas muito limitadas); para outros problemas foi tomada consciência da sua natureza estrutural (por exemplo: a existência de uma componente ideológica na pesquisa).

Neste período alguns temas bastante fundamentais para o desenvolvimento da área no Brasil foram amplamente debatidos, como a conveniência ou não de uma especialização no exterior⁽⁷⁾, em analogia ao que aconteceu com a Física e com outras áreas da Educação; outros foram somente tocados de leve, como a interdisciplinaridade da atividade e suas consequências práticas; voltaremos a estes temas mais adiante na esperança de que o debate possa ser ampliado e aprofundado.

Após esta breve introdução histórica, vamos tentar caracterizar a pesquisa em Ensino de Física levantando os tipos de atividades que na nossa opinião são fundamentais e os que somente indiretamente pertencem a ela.

1.2. *Atividades fundamentais e secundárias da pesquisa em Ensino de Física*

Certamente se fosse pedido a um físico enumerar as atividades que definem a pesquisa em Física a resposta não seria simples, pois muitas atividades diferentes, desde a resolução de uma equação, até a construção de um aparelho, podem ser englobadas neste âmbito; no entanto existe uma tradição muito grande na área e isso faz com que, grosso modo, se consiga distinguir o que significa pesquisar em Física, diferenciando-a da pesquisa em Matemática ou em Tecnologia. Trata-se de uma atividade a tempo reconhecida e legitimada e, a não ser em casos de fronteira, isenta de contestação.

Ao contrário, definir o que é pesquisa em Ensino de Física é muito mais polêmico, pois a gênese desta atividade ainda não foi suficientemente analisada e discutida, nem o seu significado completamente legitimado, de forma que o seu desenvolvimento se processe de acordo com as suas raízes: a própria comunidade dos pesquisadores da área ainda não se apropriou de forma unívoca do significado da sua natureza, razão pela qual as iniciativas podem ser as mais variadas e a comunidade não tem autoridade para reconhecê-las ou desconhecê-las.

Nessas condições, qual a vantagem de tentar definir a especificidade das atividades da área ?

A tentativa de definir a natureza da pesquisa envolve duas vantagens: de um lado para quem debate o assunto, tendo experiência na área, possibilita um esforço de aprofundamento e a descoberta do que é realmente importante gera maior segurança a respeito da área ao mesmo tempo que aumenta a identificação com ela; de outro lado, para os que não participam da atividade de pesquisa, começa um processo de distinção entre o que é fundamental na área e o que é mais problemático ou até marginal; isso implica a eliminação de avaliações superficiais, que em determinadas circunstâncias podem ter efeitos negativos sobre os que trabalham na área, negando-lhes indevidamente um apoio necessário, e ajuda também a construção de uma imagem global mais equilibrada da área, junto com a percepção dos valores nela envolvidos.

Na nossa opinião podemos definir uma pesquisa "fundamental" e uma pesquisa "latu sensu". Para que haja um programa de pesquisa fundamental é necessário que exista um conjunto de atividades de reflexão, análise e experimentação sistemáticas sobre o conteúdo e/ou a prática do Ensino de Física, com a finalidade de estudar as condições nas quais ele ocorre e de levantar possíveis respostas para pro-

blemas específicos; todas estas atividades devem culminar com a comunicação dos resultados obtidos, contribuindo assim para o aprofundamento coletivo do entendimento do Ensino de Física.

Para melhor clarear este conceito começaremos dizendo o que consideramos pesquisa indireta em Ensino de Física (sem evidentemente menosprezar este tipo de atividade).

Qualquer tipo de atividade feita com o único intuito de melhorar a prática em sala de aula ou aumentar a motivação dos alunos, sem nenhum tipo de registro sistemático ou pelo menos de reflexão que esclareça de alguma forma, para a comunidade científica, a contribuição oferecida, não é pesquisa fundamental em Ensino de Física (mas pode muito bem ser ótimo Ensino de Física). Qualquer tipo de produção escrita (livro-texto, apostila, problemas ou exercícios) sem uma análise das bases teóricas ou das finalidades ou das condições de aplicabilidade não é pesquisa fundamental em Ensino de Física (mas pode ser um excelente subsídio para a atividade docente). Qualquer tipo de produção de material de laboratório ou de instrumentos sem um esclarecimento da contribuição que ele proporciona à aprendizagem dos alunos e/ou das condições que modificam esta contribuição, não é pesquisa fundamental em Ensino de Física. Finalmente qualquer discussão, debate que vise à realização de um curriculum ou à sua atualização ou à sua reformulação, sem a preocupação de esclarecer os objetivos e/ou as consequências previsíveis, e de oferecê-los à avaliação dos outros pesquisadores não é pesquisa fundamental em Ensino de Física.

O que na nossa opinião torna estas atividades como secundárias em relação à pesquisa fundamental é a preocupação de resolver um problema prático sem inseri-lo no contexto do aprofundamento das características do Ensino de Física, e sem se preocupar com a sua eventual reprodutibilidade e com a análise e a avaliação crítica da comunidade científica.

Ao contrário, escrever um texto novo com a finalidade de testar os efeitos de uma nova sequenciação do conteúdo ou de um novo enfoque ou de um conteúdo não usual e registrar os resultados conseguidos e as conclusões é fazer pesquisa fundamental em Ensino de Física. Construir um aparelho para ser utilizado numa pesquisa sobre habilidades manuais ou sobre a capacidade dos alunos de enfrentar um problema novo, estabelecendo hipóteses iniciais e condições de sua verificação e oferecendo os resultados obtidos e as conclusões à crítica dos colegas é fazer pesquisa fundamental em Ensino de Física. Debater o problema da Resolução 30 ou da Lei 5692 para levantar os possíveis efeitos destas leis sobre o Ensino de Física é fazer pesquisa fundamental em Ensino de Ff-

sica desde que a análise e a crítica sejam relacionadas com as teorias existentes ou com a prática cotidiana ou com a História da Educação e os resultados e conclusões possam servir para aprofundar os conhecimentos das pessoas envolvidas com o Ensino de Física.

Enfim, fazer pesquisa em Ensino de Física é prioritariamente tentar entender a natureza do ensino, da aprendizagem e do seu conteúdo, relacionando a prática cotidiana com os seus objetivos e com o contexto que a define e/ou a limita.

Como complementação destas afirmações parece-nos interessante passar para um delineamento da diferença entre pesquisa em Física, em Educação e em Ensino de Física, finalizando com a caracterização desta última como essencialmente interdisciplinar.

1.3. Pesquisas em Física e em Educação

Para uma caracterização da pesquisa em Física através de uma análise de tipo descritivo que tente interpretá-la no seu contexto sócio-cultural parece-nos que os trabalhos de Kuhn⁽⁸⁾ e Lakatos⁽⁹⁾ são fundamentais pelas suas bases históricas.

Os pontos que consideramos importantes para entender a pesquisa em Física e que apresentam diferenças com as pesquisas em Educação são os seguintes: a) presença marcante de um paradigma e de modelos altamente aceitos; b) papel peculiar da linguagem matemática; c) procura de experimentos cruciais e de sua contínua reprodutibilidade; d) sua caracterização como disciplina; e) formação estreita dos candidatos a pesquisadores e pouca atenção às influências sociais e políticas; f) competitividade e produtividade da pesquisa.

- a) A presença de um paradigma praticamente universal que envolve a aceitação da Teoria Quântica e da Relatividade com os seus respectivos postulados é hoje consenso na área: de fato todos os desenvolvimentos e os aprofundamentos destas teorias têm-se caracterizado por uma continuidade de finalidade e de pressupostos até hoje não questionados (ou somente esporadicamente postos em dúvida). Isso apesar do enorme desenvolvimento da sofisticação experimental e do número de pesquisas: a expansão destas últimas tem levado ao aprofundamento de alguns modelos, localizados em áreas específicas⁽¹⁰⁾ e cuja aceitação é tão difundida que podem ser considerados como sub-paradigmas, pois o comportamento dos pesquisadores em relação a eles pode ser considerado semelhante à atividade de fazer "ciência normal" descrita por Kuhn

- ou às atividades envolvidas nos "programas de pesquisa" descritos por Lakatos.
- b) Um segundo aspecto extremamente importante e provavelmente ligado ao anterior é a utilização de uma linguagem fundamentalmente matemática. No entanto, a matemática não se limita a operar a tradução sintética das idéias físicas, proporcionando um código bem preciso e universal; ela constitui também um motor⁽¹¹⁾ do desenvolvimento científico da Física na medida em que ela clarifica, especifica as próprias idéias físicas e até as antecipa⁽¹²⁾ e funciona como elemento de superação e de minimização das divergências nas interpretações⁽¹³⁾ de resultados teóricos e experimentais.
 - c) Um terceiro aspecto muito significativo é a função dos experimentos na gênese e/ou na validação de teorias: pelo fato que os materiais utilizados não têm (ou supõe-se que não tenham) histórias individuais, os experimentos podem ser reproduzidos no espaço e no tempo e conseqüentemente reformulados para a obtenção de medidas mais refinadas e/ou complementares. Isso permite testar previsões de modelos mutuamente incompatíveis, às vezes com suficiente precisão para decidir em favor de um deles.
 - d) Este último aspecto, junto com os dois anteriores, forma o tripé da ideologia do progresso científico. Se se atenta à universal aceitação dos paradigmas, à continuidade da linguagem matemática, que mesmo nas revoluções científicas continua a ser o elo comum em debates com pressupostos diferentes, e à objetividade dos experimentos, cujos resultados, mesmo em períodos de mudanças conceituais, devem ser respeitados⁽¹⁴⁾, se entende porque a explicação científica é considerada uma marcha lenta e difícil, mas implacável, para a apropriação da verdade. Estes mesmos aspectos fazem com que a Física constitua uma "disciplina": o seu enfoque, a sua metodologia, o seu âmbito e a natureza do seu conteúdo estão bem explicitados e por isso definem as competências necessárias para os que trabalham na área.
 - e) Estes pressupostos são continuamente reproduzidos através de uma formação estreita na qual o importante é a interpretação atual e a capacidade de se trabalhar com ela⁽¹⁵⁾; isso alimenta a colaboração, acima das divisões nacionais e políticas, de grupos de pesquisa que aceitam profundamente uma metodologia e uma estrutura de trabalho universal. Esta mesma estru-

tura, às vezes, entra em conflito com exigências locais, sobretudo nos países em desenvolvimento, e cria uma consciência dividida no pesquisador que gostaria de ver o fruto do seu trabalho desenvolvido em favor do povo que, em última análise, financia as suas pesquisas.

Na realidade esta tensão se manifesta somente em circunstâncias mais fortes, como as discussões de programas de grande impacto social: no dia-a-dia o físico esquece o quanto a sua pesquisa depende, nas suas origens e no seu desenvolvimento, de conjunturas, pressões e influências sócio-políticas. Trabalhos recentes⁽¹⁶⁾ têm chamado a atenção sobre este ponto através da análise das influências culturais, econômicas e sociais, diretas e indiretas, na gênese de novas idéias físicas, na sua evolução e sobretudo na sua aceitação pela comunidade científica, jogando muitas dúvidas sobre a "cientificidade" da visão de mundo dominante no ambiente científico e sobre a inevitabilidade de dos caminhos escolhidos.

- f) Dentro desse quadro, no qual não existe uma Física nacional e um projeto científico autônomo e característico de cada cultura, o outro aspecto da medalha, representada pela universalidade das pesquisas, é a sua competitividade. Quando pessoas trabalham em lugares diferentes, no mesmo assunto e com praticamente os mesmos recursos técnicos e científicos, é fácil entender a corrida à publicação mais rápida, ao cálculo mais imediato ou ao experimento mais tranquilo para o aumento do currículo individual; isso porque, além da universalização das pesquisas, existe uma universalização do critério de avaliação que, pela dificuldade e diversidade dos trabalhos e pelo grande número de pessoas envolvidas, tem que ser às vezes meramente quantitativo e reduzir-se ao número de trabalhos publicados ou até ao seu número de páginas.

Em outras palavras se não existe dúvida sobre a produtividade da área, como as centenas de milhares de trabalhos publicados nos últimos vinte anos atestam objetivamente, também é difícil sustentar que uma grande quantidade deles foi muito diferente de um expediente inteligente para manter o emprego de algumas dezenas de milhares de físicos no mundo inteiro.

Um rápido olhar para as pesquisas em Educação desvenda características marcadamente diferentes, sobretudo em relação aos pontos levantados acima.

- ā) Sem dúvida não existe um paradigma aceito universalmente, nem

modelos tão estruturados teoricamente e confirmados experimentalmente que permitam uma colaboração sem reservas ou uma interpretação sem ambiguidades, características da "ciência normal" Kuhniana; no máximo podemos vislumbrar nesta área "quasi-paradigmas" no sentido de linhas de trabalho às vezes contraditórias e em competição, às vezes ortogonais e de certa forma complementares. No entanto, estes modelos são bem diferentes entre eles, pois vão desde a utilização de técnicas específicas (mas com uma base teórica embutida), como por exemplo a "observação sistemática", até a inspiração em idéias geradoras bem abrangentes e gerais, como por exemplo as de Paulo Freire ou de Piaget, que no entanto receberam interpretações educacionais às vezes conflitantes.

No entanto parece-nos que também a pesquisa em Educação se caracterize por fases que chamaremos de "quase-revolucionárias" e "quase-normais" em analogia às usadas para as ciências exatas. As primeiras seriam marcadas por intensas discussões das teorias, debate aceso entre elas, questionamento dos pressupostos e levantamento de alternativas: estas atividades seriam bem ligadas ao contexto sócio-político-cultural e se limitariam às vezes a regiões culturais localizadas. As segundas seriam caracterizadas por uma tentativa de "limpar" os modelos eliminando as possíveis ambiguidades e incoerências internas e partindo para uma experimentação que vise, grosso modo, aumentar o âmbito do modelo teórico e seu suporte empírico.

- b) A ausência de um instrumental teórico tão preciso como a matemática tem sido objeto de questionamento e até de propostas tendentes a reformular a natureza dos experimentos, das teorias e das metodologias em Educação; no entanto, o efeito líquido dessa pressão tem sido o aumento e o refinamento do tratamento estatístico com evidente desconhecimento de algumas características dos fenômenos educacionais. Neste sentido acreditamos que a tentativa de considerar como científica a pesquisa educacional somente a partir de um grau de precisão quantitativa, que permita uma formulação bem próxima da matemática, seja destinada ao fracasso; isso por várias razões, uma das quais é que a linguagem educacional deve conter implicitamente elementos evolutivos e dialéticos pois esta parece ser a natureza dos fenômenos tratados.
- c) Uma outra razão dos limites na função dos experimentos é a in-

capacidade de serem reproduzidos nas mesmas condições, pois os sujeitos das pesquisas são dependentes individualmente e coletivamente do contexto sócio-cultural e de uma história pessoal irrepetível. Isso implica na presença de um grau de imprecisão inicial que nenhum avanço tecnológico nos instrumentos de medida poderá contornar: o que se pode esperar é uma sua parcial redução com o avanço do conhecimento teórico e com a multiplicação de diferentes dados experimentais. Isso também vai implicar numa permanente situação de questionamento dos pressupostos dos vários modelos elaborados e numa permanente disponibilidade de criação de alternativas, não facilmente elimináveis através da utilização de dados experimentais. Aliás a própria elaboração de experimentos está sujeita a um contínuo questionamento ligado aos seus próprios pressupostos, pois ela não se pode valer nem da universalidade dos paradigmas, nem da precisão matemática das suas leis. Evidentemente, dependendo do tipo de pesquisa educacional, esta característica de imprecisão é manipulada de formas diferentes. Temos assim tratamentos estatísticos ou experimentais em situações especiais onde os resultados têm uma certa analogia com os obtidos nas ciências exatas, mas temos também análises onde considerações sobre precisão não têm sentido pois os dados experimentais têm função eminentemente exemplificativa de fenômenos. Neste último caso, os fenômenos precisam ser interpretados num contexto mais amplo e bem qualitativo e não adianta desconhecê-los, pois representam elementos essenciais ao processo educacional, necessários para uma sua visão global.

- d) Tudo quanto foi afirmado acima nos dá uma idéia da complexidade de da pesquisa educacional, ligada à complexidade do fenômeno educacional. Isso envolve uma contínua possibilidade de perspectivas novas de análise, pois fundamentalmente a análise educacional é interdisciplinar no sentido em que o seu objetivo deve ser estudado com o auxílio das metodologias próprias de várias disciplinas: História, Filosofia, Psicologia, Sociologia, Antropologia, Pedagogia, etc... Cada perspectiva praticamente cria a metodologia de pesquisa adequada, o conteúdo adequado, a combinação de competências adequadas e contribuição que cada uma das disciplinas citadas pode dar no campo metodológico e no campo das idéias-mestras que vão orientar o trabalho.

Uma consequência imediata desta complexidade é a dificuldade

em se definir de forma positiva as características de uma pesquisa inteligente em educação: o máximo que se pode desejar é ter claro os defeitos que ela precisa evitar para não se tornar insignificante ou falsificadora.

- 6) As considerações acima nos dão elementos para entender a diferença entre a formação de um pesquisador em Física e em Educação; este não pode ter um curriculum vinculado à competência específica em todas as disciplinas envolvidas no estudo do processo educacional. Parece então intrínseco ao trabalho de pesquisa em Educação uma formação mais flexível e mais ligada aos tipos de pesquisas efetivamente desenvolvidas num determinado centro de formação e aos tipos de preocupações que as animam.

Neste aspecto é interessante observar um fenômeno típico destes últimos anos: a atenção que se vem dando às influências sócio-culturais no processo educacional; isso constitui mais uma prova contra a pretensão de construir uma pesquisa educacional universal e está chamando sempre mais a atenção dos educadores para os aspectos regionais ou sociais, considerados como fundamentais para a compreensão do processo educativo; de outro lado a tomada de consciência da presença de uma componente ideológica na própria programação das experiências e na interpretação dos resultados obtidos tem às vezes facilitado o diálogo entre "modelos" e "correntes" diferentes por focalizar os pressupostos implícitos.

A própria formação dos educadores e dos pesquisadores na área tem se beneficiado em parte desse aspecto, apesar dele não ter sido ainda incorporado como complemento nos vários modelos de teoria da Educação e ser às vezes considerado como um modelo alternativo de pesquisa. De qualquer forma, mesmo descontando as ambiguidades existentes, trata-se de um passo à frente na compreensão da realidade educacional e na utilização mais cuidadosa dos resultados de pesquisas baseadas em premissas diferentes.

- 7) Finalmente, no que diz respeito à produtividade da área, a situação é sem dúvida diferente da pesquisa em Física, pelo menos aqui no Brasil: em primeiro lugar o número de pesquisadores é muito menor; em segundo lugar as fontes de financiamento são mais limitadas, e conseqüentemente a possibilidade de dedicação integral à pesquisa bem mais precária; em terceiro

lugar as pesquisas têm refletido inúmeras vezes problemas locais sem uma correspondente continuidade e com conseqüente desgaste em termos de preparação e de tempo. No entanto, na medida em que se tem criado grupos de pesquisas ligados a instituições estáveis, partilhando uma metodologia e adaptando objetivos importados das universidades e centros educacionais do hemisfério norte, tem-se tido uma produtividade maior; resta a dúvida quanto a importância destes trabalhos e sua significação social.

E a pesquisa em Ensino de Física? De que lado ela está? Quais as características que ela compartilha com um ou outro tipo de pesquisa?

Sem dúvida os objetivos e a metodologia da pesquisa em Ensino de Física tem uma componente ligada às pesquisas educacionais em geral: afinal das contas está-se pesquisando Educação em Ciência e não produzindo ou aprimorando diretamente a própria ciência. No entanto ela tem características próprias por causa das características do conteúdo que é objeto específico do processo de ensino e de aprendizagem. Na medida em que a pesquisa focaliza o conteúdo como elemento fundamental, ela envolve direta ou indiretamente os pressupostos da pesquisa em Física.

Com isso queremos salientar que a análise do processo educacional que se realiza no ensino de Física não pode ser totalmente entendido como um caso particular a mais, a partir de idéias gerais, pois a natureza altamente sofisticada das teorias físicas, a sua aceitação universal, a utilização de uma linguagem rigorosa e de uma experimentação precisa e progressiva, assim como a aceitação da ideologia nelas envolvida têm influenciado diretamente a própria postura dos educadores e a reação dos aprendizes.

1.4. Interdisciplinaridade da pesquisa em Ensino de Física

Mesmo numa disciplina tradicional como a Física os pesquisadores têm ampliado seu domínio de competência envolvendo-se em campos interdisciplinares como os da Físico-Química, Biofísica, Física Médica, Física do Meio Ambiente, etc. Dependendo do seu grau de institucionalização essas áreas vão se tornando aos poucos quase novas disciplinas, apesar da sua estruturação permanecer bem mais flexível.

As pesquisas em Educação, como vimos anteriormente, apresentam a característica da interdisciplinaridade de forma bem mais acentuada: as disciplinas envolvidas são múltiplas e a combinação entre elas pode ser variada, dependendo do enfoque da pesquisa. Isso tem conseqüências

significativas do ponto de vista da metodologia, enfoque, conteúdo, objetivo; no entanto, a Interdisciplinaridade se faz entre disciplinas que pertencem à área de Ciências Humanas, e que, de alguma maneira, participam de um núcleo comum.

As pesquisas em Ensino de Física têm uma característica a mais: elas introduzem no reino da Interdisciplinaridade educacional a contribuição de uma ciência "exata" com todo o seu aparato institucional e disciplinar. O efeito disso é mais complexo pois não se trata apenas de uma disciplina a mais, mas de uma disciplina diferente que constitui um elemento de polarização fundamental. Vejamos como isso se dá no nosso caso.

De fato, a pesquisa em Ensino de Física se refere ou ao conteúdo a ser ensinado e aprendido, ou à prática envolvida no seu ensino e na aprendizagem, junto com as suas finalidades explícitas ou implícitas. Pelo lado da análise de sua prática, é necessário saber qual a problemática geral das pesquisas a ela relacionadas e que se referem às várias disciplinas, quais os seus resultados mais importantes e qual a interpretação desses resultados nos "modelos" considerados mais satisfatórios; mais ainda é útil conhecer quais as idéias mestres na orientação das pesquisas nas disciplinas envolvidas. Dessa forma o trabalho não só será atualizado e enriquecido, mas constituirá também uma contribuição, às vezes parcial e indireta, ao desenvolvimento das próprias disciplinas envolvidas.

Pelo lado do conteúdo é importante estar a par da sua gênese, da sua ligação com conteúdos análogos, da sua ligação com as pesquisas mais atualizadas em Física; sobretudo da sua ligação com as idéias intuitivas que dirigem a prática da pesquisa em Física e dos conteúdos ou teorias alternativas que dão conta dos mesmos resultados experimentais. Uma pesquisa sobre o conteúdo sugerida por uma pesquisa em ensino, por sua vez, torna-se enriquecedora também para os que trabalham diretamente na área de pesquisa em Física.

Dificilmente esta tarefa poderá ser realizada sem uma consulta sistemática, pelo menos nos momentos cruciais da pesquisa, a especialistas de várias áreas; talvez isso possa parecer simples no sentido de ter como único problema a disponibilidade de tais especialistas; da nossa parte acreditamos que a interação com os especialistas constitui algo de mais profundo do que a simples troca de informações básicas: constitue, às vezes, a própria essência da Interdisciplinaridade.

Não se trata de somar quantitativamente conhecimentos de várias áreas, mas se trata de avaliar, dosar e re-interpretar tais conhecimentos em relação ao problema específico enfrentado. Em outras palavras,

trata-se às vezes de avaliar o grau de incerteza envolvido num determinado problema de Ensino de Física e adaptar a ele um instrumental de outras áreas com características diferentes (os físicos fazem isso comumente quando manipulam a matemática de forma mais intuitiva); outras vezes trata-se de transformar ou complementar ou até deformar (conscientemente) a teoria utilizada para que ela seja produtiva na nova área.

Vamos dar alguns exemplos desta situação em campos diferentes com os quais tivemos alguma forma de contato.

1) A técnica de Cloze (retirada sistemática de palavras de um texto) tem-se mostrado uma ótima técnica matemagênica (geradora de aprendizagem) para crianças ou adolescentes na área de aprendizagem de língua e de redação⁽¹⁷⁾; a sua aplicação à aprendizagem de Física no ensino superior tem levantado dois problemas: a adaptação da técnica ao conteúdo (a retirada das palavras não pode ser uma em cada enésima) e a adaptação da técnica aos sujeitos da pesquisa (a retirada de uma só palavra por vez perturba a aprendizagem)⁽¹⁸⁾. A interpretação dessas adaptações envolve de um lado o conhecimento específico da natureza da linguagem científica com a sua densidade de significado bem diferente da literária, de outro lado a reformulação de modelos de leitura para que se adaptem à prática de pessoas adultas que lêem com a intenção de aprender uma ciência exata e resolver problemas a ela ligados.

2) As pesquisas sobre estruturas mentais ou sobre a relação entre conceitos na aprendizagem de Física têm utilizado abundantemente o modelo de Piaget⁽¹⁹⁾ ou o de Ausebel⁽²⁰⁾; no entanto pesquisas paralelas⁽²¹⁾ têm apontado a existência de uma série de conceitos "expontâneos" diferentes dos conceitos Newtonianos: esses conceitos "expontâneos" se revelam somente em determinadas condições e parecem em boa parte independentes das estruturas mentais dos sujeitos que aprendem. Isso questiona de um lado os trabalhos de classificação das estruturas mentais dos alunos em Física, que utilizam conteúdos Newtonianos⁽²²⁾, e também joga sérias dúvidas sobre a possibilidade de representar a estrutura conceitual real através de mapas ou redes ou similares. A natureza mais abstrata e mais compacta do conteúdo científico parece fazer com que ele possa existir na mente dos alunos como uma unidade conceitual superposta aos conceitos derivados do cotidiano, sem interação com eles e sem a consciência do conflito existente.

3) Existem pesquisas sociológicas tentando analisar instituições científicas; as mais elaboradas referem-se às áreas médicas ou psiquiátricas ou às agências de saúde⁽²³⁾; nelas aparece com bastante clareza a subordinação do conteúdo científico ao aparelho institucional e às finalidades políticas da instituição. Na transposição dessas análises para as instituições de ensino ligadas às Ciências Exatas e à Física em

particular é necessário atender a peculiaridade do conteúdo científico, pois a identificação dos agentes institucionais com a tarefa de elaborar e produzir esse conteúdo é tão enraizada que parece permear todas as relações pedagógicas: conseqüentemente o esquema de análise tem que ser adaptado.

4) A produção de um texto didático envolve sempre a explicitação de uma maneira de ver a Física e de utilizar as analogias mais significativas: por isso é importante a colaboração de especialistas no campo das pesquisas teóricas e/ou experimentais. No entanto a grande maioria dos textos produzidos não tem utilizado a história da Física e a análise dos pressupostos epistemológicos (ou as tem utilizado de forma distorcida) ligadas ao conteúdo proposto: o efeito disso é um empobrecimento do ponto de vista cultural e um doutrinamento do ponto de vista ideológico, pois geralmente introduz implicitamente uma imagem estereotipada da ciência e do seu desenvolvimento, sobretudo nos períodos marcadamente revolucionários⁽²⁴⁾. Se além disso consideramos que um texto didático diz respeito necessariamente ao processo de aprendizagem dos alunos que deverão utilizá-lo, aparecerá claro como a sua produção deve ser considerada uma atividade essencialmente interdisciplinar. Existem exemplos nos quais as exigências de diferentes disciplinas podem entrar em conflito: nestes casos a pesquisa deverá apontar as soluções possíveis que respeitem os vários pontos de vista. Vejamos alguns casos.

5) Nas discussões sobre o laboratório didático e sobre os seus objetivos⁽²⁵⁾, tem-se insistido muito na sua relação com a estrutura mental dos alunos e com as suas histórias educacionais: como consequência tem-se observado a tendência de utilizar bastante a fenomenologia do cotidiano, incentivando a procura de regularidades nas experiências propostas em sala de aula e em casa. No entanto, essa preocupação representa somente um aspecto do problema: um laboratório didático que pretenda oferecer aos alunos uma idéia realista do que é a atividade experimental em Física deverá desenvolver de alguma maneira atividades características da criatividade experimental, ligadas a medidas que envolvam aumento de precisão e medidas que concretizem o teste de uma teoria abstrata e sofisticada. Qualquer proposta que constitua um avanço no ensino de laboratório deverá sintetizar os dois aspectos: por isso deverá ser fruto de uma pesquisa interdisciplinar.

6) Muitas inovações no Ensino de Física, apesar de se apresentarem como sugestões brilhantes e às vezes profundas do ponto de vista do conteúdo, ou da experimentação, não têm tido sucesso na hora da divulgação, sofrendo um processo de "rejeição" pela comunidade envolvida no ensino. Neste sentido tem sido apontado como falha o desprezo da análise

se das condições sociológicas e psicológicas que tornam um determinado produto educacional fácil ou dificilmente assimilável (26). Mas também tem-se produzidos sobretudo aqui no Brasil, textos didáticos ou métodos de ensino que, indo ao encontro de exigências de "marketing" e aparados por um esquema de divulgação eficiente, têm conseguido sucesso de venda, e grande utilização na prática do ensino, apesar de não refletirem, nem de longe, a estrutura e a profundidade da ciência ensinada, nem as suas técnicas de produção. Mais uma vez uma solução realmente "eficiente" somente poderá surgir de uma abordagem interdisciplinar. Generalizando um pouco o problema, desde já podemos afirmar que não existe um método de ensino, nem uma sequência didática, nem um conjunto de recursos tecnológicos, que constitua solução para o ensino de Física, pois as condições ambientais, a estrutura psicológica dos aprendizes e dos docentes e a estrutura do conteúdo exigem enfoques e atividades diferentes para cada tipo de finalidade. Existem informações técnicas que o aluno aprende melhor e mais rapidamente com sistemas auto-instrutivos, mas certamente ele aprenderá mais profundamente a resolver problemas discutindo com os colegas ou com o professor e terá uma idéia geral sintética de um assunto em pouco tempo assistindo a uma palestra: a tarefa da pesquisa interdisciplinar é exatamente a de relacionar tipos de conteúdos e de habilidades a serem aprendidos com tipos de procedimentos de ensino (27).

Como corolário desta discussão bastante alongada sobre a interdisciplinaridade da pesquisa em Ensino de Física podemos então perceber a necessidade de um elemento sintetizador e avaliador das idéias e suas gestões que vêm das várias disciplinas: dificilmente um físico pode ter acesso às idéias gerais relevantes produzidas nas outras disciplinas e assimilá-las de forma coerente, sem uma interação contínua e sistêmica (pelo menos por um certo período de tempo) com a efervescência e a criatividade de outras disciplinas. Analogamente com muita dificuldade de um psicólogo, ou um educador, ou um filósofo, ou um sociólogo, poderá perceber a força e a coerência da pesquisa em Física sem compartilhar, por um período de tempo suficiente, do rigor e da universalidade da sua linguagem ou do refinamento da sua experimentação. Isso evidentemente cria problemas de formação que não podem ser resolvidos por uma única disciplina. A análise deste aspecto constituirá um dos itens da segunda parte deste trabalho.

REFERÊNCIAS E NOTAS

- 1) Este trabalho é uma reelaboração e a tentativa de aprofundamento do debate iniciado com a publicação, de forma mimeografada e restrita, dos artigos "Considerações sobre a pós-graduação em Ensino de Física na Universidade de São Paulo" de 1978 e "Pesquisa em ensino de Física - problemas e pseudo-problema" de 1979 de nossa autoria, e de alguns seminários realizados no Instituto de Física da USP e no Instituto de Física da UFRGS.
- 2) Por ex., E.W.Hamburger: "Para que pós-graduação?", XXIX Reunião da SBPC-1977. Encontros com a Civiliz. Brasileira nº 19 - 1980. L.A.Cunha - "Pós-graduação no Brasil", Rev.Adm.Emp., F.G.V. 14 (5) (1974), 66-70. Veja também a série de debates promovida pela CAPES.
- 3) M.C.Guedes: "Pesquisas em Educação" - Mesa Redonda - 1ª Conf. Brasil. de Educação, São Paulo - 1980. L.A.Cunha - "Pesquisa em Educação: tendências e propostas" XXIX Reunião da SBPC - 1977.
- 4) Um bom exemplo disso são as Atas do III Simpósio Nacional de Ensino de Física, de 1976, aonde pode-se verificar, além do grande número de trabalhos apresentados, a grande diferenciação geográfica dos autores.
- 5) Em São Paulo houve o caso mais ressonante: várias teses de mestrado já redigidas foram bloqueadas na hora da defesa e tiveram que esperar mais de seis meses para poderem ser defendidas.
- 6) Basta comparar o número de trabalhos apresentados no III e no IV Simpósio Nacional, para perceber este aspecto.
- 7) No IV Simpósio Nacional de Ensino de Física, de 1979, o problema foi objeto de um debate muito aceso na Assembleia conclusiva do Simpósio e não houve unanimidade a respeito; prevaleceu a opinião de evitar o envio de pesquisadores para se doutorarem no exterior.
- 8) T.S.Kuhn: "A estrutura das Revoluções Científicas", ed. Perspectiva, 1975.
T.S.Kuhn: "A função do dogma na investigação científica", está em "Scientific Change" de A.C.Crombre (org.) Heinemann - 1963 - traduzido nos Textos do 363 - Abril 1977 - IFUSP.

- 9) I. Lakatos: "History of Science and its Rational Reconstructions", está em Boston Studies in the Philosophy of Science VIII-1972.
- 10) Um belo exemplo disso é o modelo de quarks que, introduzido quase 20 anos atrás como um dos vários modelos de partículas, atualmente, junto com a Cromodinâmica Quântica, constitui um dos modelos mais aceitos da Física.
- 11) E. Zahar tem uma análise interessante a respeito em "Why did Einstein's Program supersede Lorentz's", Brit. J. Phil. Sc. 24, (1973), 95-123(1).
- 12) Exemplos típicos podem ser encontrados na história como na passagem das linhas de forças de Faraday para as equações do eletromagnetismo de Maxwell ou na formulação do princípio da Relatividade por Lorentz, Poincaré e Einstein, utilizando as propriedades de grupo, ou, para chegar a uma época mais recente, na descoberta do "positron", interpretação física das soluções com energia negativa da equação de Dirac.
- 13) Exemplos bem significativos são os debates entre interpretação ontológica e probabilística do princípio de incerteza da Mecânica Quântica e a interpretação das transformações de Lorentz em termos de teoria do Éter e teoria da Relatividade.
- 14) No entanto existem casos bem raros de revoluções científicas que envolvem também uma mudança radical do significado da explicação científica, tornando completamente obsoletos e sem importância conjuntos de dados e experimentos.
- 15) Aliás existe uma forte tendência, pelo menos na formação acadêmica explícita, de insistir nos elementos de cálculo, de discussão matemática, deixando de lado não só as interpretações alternativas, mas a própria discussão teórica das idéias básicas e das imagens e intuições que as caracterizam.
- 16) Ver por exemplo: G. Ciccotti, M. Cini, M. de Maria, G. Jona-Lasimo: "L'ape e l'architetto", Feltrinelli - Ed., Milano, 1976.
M. Cini - "Fatores ambientais e tradições culturais no desenvolvimento da Eletrodinâmica Quântica", Preprint-Roma, 1980.

- 17) S.M.A.Moyses: "Criatividade verbal e adjetivação em redação: um estudo experimental com a técnica de Cloze". Tese de Doutorado IPUSP-1976.
- 18) S.B.N.Scala: "Aprendizagem e leitura: a técnica de Cloze na compreensão de relações de Física". Dissertação de Mestrado IFUSP-FEUSP, 1980.
- 19) J.Piaget e B.Inhelder: "Da lógica da criança à lógica do adolescente", Pioneira Ed. - São Paulo 1970.
- 20) M.A.Moreira: "A teoria de aprendizagem de D.Ausebel como sistema de referência para a organização do conteúdo de Física Geral", Rev. Bras. de Física 9, 275-293 (1979).
- 21) L.Viennot: "Le raisonnement spontané em dynamique élémentaire", Hermann - Paris 1979; J.W.Warren: "Understanding force", Martins Print Ltda. London 1979.
- 22) No próprio trabalho de Piaget e Inhelder (ref.15) existe esta ambiguidade (L.Viennot, Comunicação particular).
- 23) J.A. Guilhon Albuquerque e A.E.Ribeiro: "Relações Institucionais em Agência de Saúde", Dep. Ciências Sociais FFCL-USP, 1979.
- 24) Um dos casos mais interessantes, a este respeito, é o da gênese e desenvolvimento da teoria da Relatividade: a grande maioria dos textos didáticos são extremamente simplistas no tratamento da teoria clássica do Éter que estava competindo com a teoria de Einstein. Uma apresentação das interpretações desse confronto pode ser encontrada em A.Villani: "O confronto Lorentz-Einstein e suas interpretações", Rev.Ens. de Física 3 (1981)(2) 31-45 (I); (3) 55-76 (II); Preprint IFUSP/P-265 (III) e Preprint IFUSP/P-269 (IV).
- 25) F.D.Saad, C.A.Pimentel: "O laboratório didático de Física no ensino experimental: um estudo visando a viabilidade de novas abordagens", Preprint IFUSP/P-290 - 1981.
- 26) C.Z.Dib: "Transferência da tecnologia da educação na área científica", Preprint - 1978.
- 27) Por isso consideramos que a tendência de um certo tipo de Tecnologia

da Educação de minimizar o papel do professor como fonte e mediador de conhecimentos, tornando realidade o sonho de F.Keller de dar "adeus" ao mestre tradicional, seja baseada num desconhecimento das exigências do ensino de ciências .

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq.