

# FÍSICA

## O sentido do aprendizado da Física

Freqüentemente, a Física para o Ensino Médio tem se reduzido a um treinamento para a aplicação de fórmulas na resolução de problemas artificialmente formulados ou simplesmente abstratos, cujo sentido escapa aos estudantes e, não raro, também aos professores. Além de outras razões históricas, o que reforça tal tipo de ensino de física é a expectativa de que sirva como preparo eficiente para os exames vestibulares, de acesso ao nível superior. Além de levar a uma mediocrização do aprendizado, automatizando ações pedagógicas, tal ensino nem sequer serve adequadamente à preparação para o ensino superior, pois a postura de memorização sem compreensão, conduz ao esvaziamento do sentido das fórmulas matemáticas, que expressam leis fundamentais ou procedimentos científicos, conduz enfim a um falso aprendizado.

Para evitar que se instale tal “burocratização” do ensino da Física, além das recomendações de natureza metodológica, tratadas mais adiante neste mesmo texto, são necessárias modificações do próprio conteúdo. Por exemplo, para se estabelecer um diálogo real, em que alunos e professores possam efetivamente formular idéias e conferir seu aprendizado, pode-se recomendar o tratamento, desde a abertura de cada área da Física, de temas da vida diária, como equipamentos, sistemas, e situações reais, em perfeita continuidade, aliás, com o que foi proposto para a educação fundamental.

A Mecânica pode tratar da operação e movimento de máquinas e veículos, e a estática das construções civis de veículos e de ferramentas, a termodinâmica pode lidar com radiação solar, com motores a combustão e ciclos atmosféricos, a ótica pode lidar com lentes de óculos, de telescópios e de microscópios, com fotografias, com telas de TV e com videogravadoras. Finalmente, o eletromagnetismo deverá se referir aos motores elétricos, medidores, geradores, com radiodifusão e processamento de informações.

A elaboração teórica, abstrata e geral, expressa em leis e princípios, apoiada em expressões matemáticas é um dos mais importantes objetivos do aprendizado, mas não é necessariamente, nem desejavelmente, seu ponto de partida.

É inútil pensar que se pode superar o ensino “tradicional”, simplesmente pela alteração nas ordens dos conteúdos. Aliás, ainda que não exista uma ordem universalmente estabelecida para os conteúdos instrucionais de Física, na escola média, é conveniente adotar uma seqüência dada de disciplinas ou conteúdos para evitar que a migração escolar, gerada por mudança residencial do estudante ou por outros fatores, possa resultar em repetição de temas ou em lacunas formativas.

Neste sentido, considera-se importante a seqüência majoritariamente adotada em quase todo o Brasil, ou seja, Mecânica cobrindo toda a primeira série do Ensino Médio, Termodinâmica no primeiro semestre do segunda série, Óptica no segundo semestre da segunda série e Eletromagnetismo, cobrindo toda a terceira série. Elementos de Física moderna, incluindo estrutura atômica, estariam presentes na segunda e na terceira série, já se iniciando também alguma cosmologia no estudo de gravitação, na primeira série.

A Mecânica, desenvolvida na primeira série, deveria começar pela dinâmica, especialmente pelas leis de conservação das quantidades de movimento e da energia, dirgindo-se sobretudo para os elementos de vivência diária, tais como veículos, máquinas e outros equipamentos, com sua propulsão e seu freiamento, evitando-se as introduções alongadas da cinemática, tão comum em nossas escolas, coibindo-se assim a abstração e matematização precoces. O professor que, por tradição ou por outras razões, considerar que a descrição matemática das posições e deslocamentos em função do tempo, deva merecer um extenso desenvolvimento, antes da introdução da dinâmica propriamente dita, pelo menos deveria limitar tal tarefa a, no máximo, um mês de aulas, ou estará frustrando o programa de aprendizado, em lugar de promovê-lo.

O desenvolvimento de uma percepção da idéia de conservação das quantidades de movimento, por sua vez, deve preceder sua formulação como princípio, assim como deve preceder a própria formulação das leis de Newton. Ganhar consciência das regularidades que presidem a própria definição de quantidade de movimento e de energia é uma etapa extremamente importante. Por isto, pretender iniciar um curso com um

conjunto de definições, a pretexto de que sejam conceitos “elementares”, é revelar insensibilidade pedagógica ou é ignorar milênios de elaboração intelectual que precederam nossa era, quando a Física ou particularmente a mecânica, há três séculos, inaugurou a ciência moderna.

A busca, pelos alunos, da “lógica” das regularidades da natureza, ao investigarem movimentos e inércias, forças conjugadas, torques recíprocos, enfim o desenvolvimento da compreensão do que se denomina mecânica, pode ser uma etapa decisiva na sua construção intelectual. A fenomenologia envolvida está toda ao seu alcance, em máquinas, autos e motos, ou num intrigante sistema solar, que desafiou por milênios a inventividade dos astrônomos e, hoje, pode ser visto como um bem azeitado e ajustado “mecanismo”, graças a leis universais percebidas por Kepler e formuladas por Newton. Neste início do ensino médio, uma maturidade cada vez maior para o raciocínio abstrato se associa à inquietude dos adolescentes, permitindo o ousado salto de qualidade que é acompanhar esta notável construção do espírito humano.

Se a principal vantagem de se aprender a Mecânica na primeira série está no fato de seu conhecimento poder ser construído a partir de um sentido prático e vivencial macroscópico, que dispensa inicialmente modelagens do mundo microscópico ou submicroscópico. Outra razão é que ela, no enfoque adotado, privilegia o aprendizado de princípios gerais, como os de conservação das quantidades de movimento e da energia; ferramentas conceituais para as demais disciplinas da física e das demais ciências.

Talvez tão universal quanto a Mecânica, no sentido de estar presente em todas situações e campos disciplinares, seja a Termodinâmica, tratada já no primeiro semestre da segunda série. Mais uma vez, é preciso olhar criticamente o que comumente se ensina, a começar pelo que costuma denominar de “termologia”, em que as medidas de temperatura se restringem ao estudo dos termômetros clínicos de dilatação e a conversões de escala de discutível utilidade. Pelo contrário, é preciso evitar esta tradicional limitação, mostrando que diferentes faixas de temperatura exigem termômetros de diferentes naturezas, usando diferentes propriedades termométricas, como os termopares ou como o “termômetro óptico”, essencial, por exemplo para fornos siderúrgicos. Ao mesmo tempo em que se verifica a variação de propriedades dos materiais com a temperatura, se identificam propriedades que permitem a construção de termômetros. Pode-se dizer o mesmo, dos pontos de mudança da fase da água.

Na realidade, os aspectos mais interessantes da termodinâmica estão associados à transformação de energia térmica em mecânica, ou seja, à “conversão calor-trabalho”, onde é bastante significativa a introdução da primeira lei da termodinâmica, a da conservação da energia, e da segunda lei, a da degradação da energia. Ambas mais vantajosamente tratadas no estudo de máquinas térmicas reais, como a turbina e os motores a combustão interna e refrigeradores domésticos. Os ciclos ideais devem coroar e não substituir o aprendizado das máquinas reais. A compreensão de ciclos naturais, da água, dos ventos e do carbono, todos essencialmente influenciados pelo Sol, se facilitará em seguida, o conhecimento dos ciclos das máquinas térmicas.

O semestre seguinte, dedicado à Ótica, pode ser aberto com o estudo de fontes de luz, como lâmpadas, chamas, Sol, e dos registros de imagens, como a fotografia, as fotocopiadoras e as filmadoras de vídeo. Na realidade, isto abre uma série de questões sobre a natureza quântica da luz, não só por conta da fotoquímica e dos componentes baseados em semicondutores. o que não significa a resolução de complicadas equações, mas o desenvolvimento de conceitos. Propor qualquer formalização maior disto seria um equívoco semelhante à ênfase incorreta em cinemática, na primeira série.

É essencial a explicitação da natureza quântica da luz, pois é inaceitável tratá-la como onda clássica, como muitas vezes ainda se faz. De resto, as cores dos objetos e dos filtros de luz, e a forma como são percebidas pelos nossos olhos ou por equipamentos óticos, são efeitos quânticos, que não são compreensíveis de outra forma; isso sem mencionar o laser e outros processos mais especializados, já amplamente incorporados à tecnologia de nosso cotidiano, nas transmissões a cabo e nos CD's.

A tradicional ótica geométrica continua tendo seu lugar, no ensino médio, a começar pelo aprendizado do funcionamento do olho humano, da lentes corretoras e de como atuam sobre os defeitos da visão, antes de se aprender a compor lentes, em aparelhos mais complexos. Poderia ser iniciada a ótica por desta parte, mas o risco de se começar pela ótica geométrica, em lugar da ótica física, é semelhante ao risco de, na mecânica, fazer isto com cinemática, ou na mecânica com a eletrostática; pode-se perder um tempo precioso, tratando a luz como se fosse “um raio”, enquanto notáveis processos fundados na compreensão

quântica da luz e já amplamente utilizados continuarão a só ser “descobertos” por poucos alunos, que eventualmente tenham acesso a revistas e livros de divulgação científica.

A terceira série será quase todo dedicado ao Eletromagnetismo, começando vantajosamente por um primeiro tratamento formal de sistemas resistivos e, em seguida, por sistemas motores, que são os dois grandes conjuntos de fenômenos com que iniciamos o aprendizado desta disciplina. O que se falou da cinemática e da ótica geométrica, também vale, como mencionado, anteriormente para a eletrostática. Deixá-la para depois e com menos ênfase poupa tempo, e dá mais sentido de realidade ao estudo do eletromagnetismo. A existência das cargas elétricas pode ser assumida desde cedo, mas são as correntes elétricas que constituem uma realidade mais vivida e perceptível, por isso, é importante iniciar por elas.

É preciso, desde logo, garantir uma compreensão integrada de fenômenos elétricos e magnéticos, o que deveria ser feito com a presença de geradores e motores reais, que podem ser precedidos por medidores analógicos, tendo por base galvanômetros. Só isto já constitui uma revolução no “velho” ensino médio da eletricidade que, na prática, se restringe a um estudo da eletrostática, de circuitos de corrente contínua, e de efeitos resistivos de correntes e, mesmo assim, terminando sem dar aos alunos critérios para definir por que um dado circuito deve ser protegido por um fusível para 10 e não para 30 ampéres, e sem dar a mínima idéia nem de como se opera uma chave disjuntora, que hoje substitui o fusível. Motores e geradores elétricos...nem pensar! Que dizer de rádio e TV?

Para tratar a eletrônica da telecomunicação e da informação, a presença dos semicondutores apresenta uma fenomenologia não explicável pelo eletromagnetismo clássico. Assim como a fotoquímica e a fotoeletricidade são fundamentais para se compreender a fotografia e a videogravação, seria artificial tratar sistemas de informação e comunicação, com os velhos diodos e válvulas termoiônicas, simplesmente para evitar o caráter quântico. Na realidade, não só os semicondutores, como também a própria existência de condutores e isolantes não é explicada sem o modelo quântico.

Há quem se oponha ao fato de, a física do ensino médio lidar com a teoria quântica. É curioso que, ao mesmo tempo, se aceite que a química do ensino médio faça uso destes elementos quânticos da física, para explicar a regularidade nos saltos de comportamento dos elementos químicos, os quais resultam na tabela periódica. A necessidade indiscutível de tratar de conhecimentos e teorias mais modernas, mesmo considerada a fragilidade dos conhecimentos de física clássica pelos alunos e também pelos professores, mostra especialmente a impropriedade dos pré-requisitos fechados que, entre outras coisas, proibem a física moderna e a teoria quântica, antes de se completar o aprendizado clássico.

Na realidade, é preciso desenvolver, na didática específica da física, formas de atender à necessidade deste aprendizado. Partindo-se, por exemplo, dos modelos de átomos, com seus níveis de energia, utilizados para ilustrar a fenomenologia quântica na ótica, é possível construir um modelo plausível para isolantes, semicondutores e condutores, com suas bandas de energia respectivamente cheias e semipreenchidas de elétrons. Para isso, basta imaginar uma justaposição de átomos quânticos, levando em conta o princípio de exclusão enunciado por Pauli. Outra razão para se fazer um esforço de se dar um tratamento quântico do átomo e dos materiais, em física é a continuidade conceitual que se estabelece entre esta e a química, até porque os átomos químicos e os físicos são os mesmos.

Mesmo que já pareça ambicioso, para se completar efetivamente uma reformulação de conteúdos no ensino de física da escola média, o programa acima esboçado ainda está incompleto. Pouco se tocou no microcosmo e nem se falou do macrocosmo. Na realidade, a primeira série já se prestaria a uma introdução à cosmologia, começando pelo sistema solar, como amplo e múltiplo exemplo sistêmico das leis de conservação, no domínio do campo gravitacional, podendo chegar até à compreensão da mecânica de nossa galáxia. No segundo ano, já se introduz um modelo quântico de átomo, mas é no terceiro que caberia a introdução das forças nucleares, senão por outra razão, pelo menos para se explicar por que não explodem o núcleos com tantos prótons tão próximos, repelidos por uma brutal força coulombiana, tendo no denominador da expressão desta força o quadrado de uma distância infinitesimal...

O espectro de radiações nucleares alfa, beta e gama pode ser tratado, de início, fenomenologicamente, lado a lado com as radiações eletromagnéticas penetrantes, como os raios X, abrindo-se espaço para uma rediscussão da dualidade onda partícula nas radiações "duras", para as modelagens do núcleo e para a introdução das interações nucleares fracas e fortes. Independentemente da sequência, o que parece mais essencial é procurar mostrar as interações nucleares, seu alcance e intensidade, juntamente com

a interações gravitacional e eletromagnética, mostrando os domínios em que cada força é hegemônica e os domínios em que elas competem.

É possível argumentar-se que não é viável tratar de todas estas coisas com a mesma profundidade, que não há tempo para falar de tudo, que é preciso fazer uma seleção, que talvez não seja útil ou necessário explicar todas as forças na natureza, ou esclarecer que no interior das estrelas ocorre fusão nuclear, provocada pela altíssima temperatura que elas atingem em seu próprio processo de formação, ao cair sobre si mesmas por autogravitação. Todos estes argumentos deverão à utilidade de se aprenderem todas estas coisas e quanto a haver ou não tempo suficiente para fazê-lo. Se há tempo para cinemática e eletrostática, de mais duvidosa "utilidade", que tal selecionar?

Não é tão difícil de os alunos entenderem elementos de Física Moderna, desde que tais conteúdos sejam dominados pelos professores. Eis um problema formativo real, a ser enfrentado quando se pretender uma educação científica efetiva, no ensino médio. Cada cidadão tem o direito de acompanhar a cultura de sua época. Se queremos que a cultura técnico-científica desenvolvida em nosso século seja apresentada pelo menos para uma parcela da população que completa o ensino médio – o último antes de qualquer formação profissional – então temos de parar de pretextos e procurar formar melhor nossos professores, para que eles formem melhor seus alunos.

Tudo isto, claro, é um programa de trabalho que, como já foi dito, não se completa a curto prazo, até porque sabemos que boa parte dos professores que ensinam física no Brasil sequer tem qualquer formação específica em física. O que se trata de fazer aqui é sinalizar os conteúdos mais importantes e os menos importantes, para a formação de uma visão de mundo, e a compreensão de sua complexidade, e que continuamente construímos e reconstruímos. Inaceitável é apontar parâmetros falsos, diretrizes atrasadas, simplesmente por se pretender que a ciência de todo este século só possa ser compreendida por cientistas. Pior ainda, por mera inércia mental, acreditar ser mais importante fazer cálculos eletrostáticos ou cinemáticos artificiais, do que saber que semicondutores intrínsecos conduzem quando iluminados, ou do que ter uma noção de como se produzem os lasers ou de notar que núcleos nem poderiam existir, na ausência de forças nucleares atrativas.

A proposta de educação, que preside o programa de ensino de Física aqui esboçado, ao lado do próprio conjunto de conteúdos instrucionais, de certa forma já indica elementos para uma metodologia educacional, mas vale a pena especificá-la melhor. Outra questão é como formar os professores para dar conta do conjunto de conteúdos e para a condução de seu aprendizado. Podemos tratar brevemente estes aspectos, sem perder de vista, contudo, a necessidade de alterações mais amplas na escola, envolvendo não só a física e não só conteúdos científicos, mas também o conjunto dos objetivos da educação escolar

### **A metodologia do ensino de física e a formação dos professores**

Tanto quanto no aprendizado das ciências em geral, aprender física não se resume a conhecer conceitos e aplicar fórmulas, só se efetivando com a incorporação de atitudes e valores, construídos em distintas atividades do educando, que incluem discussões, leituras, observações e experimentações, razão pela qual se pode afirmar ser algo que não se realiza pela absorção passiva de conhecimentos.

Essa convicção aponta para uma nova postura metodológica, difícil de implementar pois exige a alteração de hábitos de ensino, há muito consolidados. Especialmente no ensino médio, não se trata simplesmente de professores adotarem uma nova prática, o que por si só já é difícil, mas de alterar o comportamento de alunos e da escola, habituados por muito tempo ao aprendizado passivo, em que o professor não só coordena mas também concentra as ações.

Especialmente nas ciências, aprendizado ativo é, às vezes, equivocadamente confundido com algum tipo de experimentalismo militante, que não é sequer recomendável, pois o *ativo* deve envolver muitas outras dimensões, além da observação e das medidas, como o diálogo ou a participação em discussões coletivas e a leitura autônoma.

A partir desta compreensão do processo educativo, o desafio primeiro para o professor é conseguir *ligar* a turma de alunos no tema, num sentido mais amplo do que simplesmente fazê-los prestar atenção, mas sobretudo significando tomar parte ativa, participar, contribuir para o aprendizado coletivo. Para isto, uma primeira condição é estabelecer um diálogo real, ou seja, entender e fazer-se entender; uma outra condição, é tratar os conteúdos de forma a ter os alunos permanentemente interessados e cientes do sentido do que se

estuda, condições que permitirão ao professor conduzir o aprendizado de forma solidária com a turma e não em oposição a ela.

As estratégias que serão adotadas para cada turma de alunos, recomendando-se leituras prévias ou sugerindo atividades pós-aula, alternando trabalhos coletivos com tarefas individuais, investigação bibliográfica com verificações práticas, desafios com reforços, exposições e demonstrações com debates e experimentações, é algo que cada professor pode desenvolver autonomamente, a partir de sua experiência e sensibilidade, levando em conta as características gerais da escola e de seu entorno social assim como as peculiaridades das turmas.

Há algumas etapas que podem ser sugeridas, como indutoras de uma metodologia de trabalho participativa. Uma delas é definir junto com os alunos, efetivamente com a participação destes, os assuntos a serem tratados no semestre ou no ano. Isto soa estranho para quem toma os conteúdos como prerrogativa do professor, de quem *sabe a matéria*, mas fica natural quando se pensa em tratar eletricidade, por exemplo, como um campo de conhecimento que trata de aparelhos resistivos, como chuveiros e ferros de passar, sistemas motores como uma furadeira ou um ventilador, sistemas geradores, como um dínamo, sistemas de comunicação, registro e reprodução de informações, como telefones, rádios e gravadores toca-fitas. Pode-se assim abrir o curso tratando *com a turma* algo como "eletricidade é...", sem abrir mão de lidar durante o curso, com toda a riqueza abstrata do campo eletromagnético, com todo o seu quadro de leis gerais.

Outra etapa, já no final, seria após a obtenção de leis e princípios gerais, convidar os alunos a reverem algumas das questões práticas com que se iniciou o aprendizado, dando-lhes condição de avaliarem por si próprios o sentido do aprendizado que adquiriram. Isto também contribui para realmente incorporar a avaliação como um momento do aprendizado, superando-se assim sua concepção regulatório-punitiva. Aliás, conduzir de forma significativa as avaliações poderia ser uma capítulo à parte, nas recomendações gerais de qualquer diretriz curricular, não havendo razão para fazê-lo em separado especificamente para o professor de física.

Para que não fique faltando uma menção específica à formação dos professores, até porque é sabido que não existe um contingente de professores capazes de, imediatamente, dar início ao programa sugerido, da forma proposta, pode-se encerrar este texto com duas considerações ou recomendações.

Uma diz respeito à formação inicial, que não deveria ser considerada concluída sem, por um lado, que o futuro professor tenha uma idéia razoável do conjunto da física contemporânea, hoje descuidada por se pressupor que ele não vai ensinar isto na escola, e por outro lado, sem que o futuro professor tenha efetivamente conduzido, sob supervisão, pelo menos um ano de ensino efetivo de uma turma de alunos regulares. A outra recomendação é sobre a formação continuada ou permanente, que deve ser realmente continuada, ou seja, fazer parte contínua da vida funcional, remunerada, do professor, e todos os professores devem estar permanentemente envolvidos em programas de atualização, seja como formandos ou como formadores, durante toda sua vida profissional.

## BIBLIOGRAFIA

- ALVARENGA, B. e MÁXIMO, A. **Física – Volume único**. São Paulo: Scipione, 1996.
- BACHELARD, G. **L' actualité de l'histoire des sciences**. In: **L'engagement rationaliste**. Paris: PUF, 1951.
- BASSALO, J. M. **Crônica da Física**. Belém: UFPA, 1987.
- BELL, J.S. **Lo decible y lo indecible en mecánica cuantica**. Madrid: Alianza Editorial, 1990.
- BOHR, N. **Física atômica e conhecimento humano – ensaios**. 1932-1957. Tr. V.Ribeiro e I. de C. Moreira. Riode Janeiro: Contraponto, 1995.
- Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira. V. 14, n.3, p.54-69, 1995 – **A criação da Astronômica na Segunda metade do século**.
- CAPPRA, F. **O tao da Física – um paralelo entre a Física e o misticismo oriental**. Trad. J. F. Dias. São Paulo: Cultrix, 1984.
- CUPANI, A. **A objetividade científica como problema filosófico**. Florianópolis: UFSC. Caderno Catarinense do Ensino de Física. v.6, 1989.
- DELIZOICOV, D. e ANGOTTI, J. A. P. **Metodologia do Ensino da Física**. São Paulo: Cortez, 1992.
- EISBERG, R.M., LERNER, L.S. **Física: fundamentos e aplicações**. São Paulo: MacGraw Hill, 1982.
- EVORA, F. R.R. **Século XIX: O nascimento da ciência contemporânea**. Coleção CLE. v.11. UNICAMO, 1992.

- FREIRE, Jr. **A emergência da totalidade – David Bohn e a controvérsia dos quanta**. Tese de doutorando. USP, 1995.
- \_\_\_\_\_. **As raízes sociais e econômicas dos Princípios de Newton**. Revista da SBPC, n.9, p.51-64, 1993.
- GIL-PEREZ, D. **Questionando a didática de resolução de problemas: elaboração de um modelo alternativo**. Caderno Catarinense do Ensino de Física, 9(1), Abril, 1992.
- GIL-PEREZ, D. e CARVALHO, A. M<sup>a</sup>. P. **Formação de Professores de ciências**. São Paulo: Cortez, 1993.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. (GREF). **Física**. v.1, 2 e 3. São Paulo: USP, 1996.
- HAIZTEGUI, A. P. e SABATTO, J. A. **Física**. Porto Alegre: Globo, 1972.
- HENNIG, G. **Metodologia do ensino de ciências**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1986.
- KNELLER, G.G. **A ciência como atividade humana**. Rio de Janeiro: Zahar, 1990.
- KUHN, T. **A tensão essencial**. Lisboa: Edições 70, 1989.
- LANDAU, L. D. e KITAGOROIDSKY, A. **Física para todos**. Moscou: Mir, 1984.
- MATURANA, V. et al. **A árvore do conhecimento**. São Paulo: PSY, 1995.
- MENEZES, L.C. de (Org.). **A formação de professores de ciências no contexto ibero-americano**. São Paulo: Cortez, 1996.
- MOREIRA, I. de C. (Org.). **A física no século XIX. Perspectivas históricas e epistemológicas**. Fórum de Ciência e Cultura. Rio de Janeiro: UFRJ, 1994.
- MOULLLOUD, N. **Epistemologia y marxismo**. Barcelona: Martinez Roca, 1974, p.27-44.
- NUSSENZUEIG, H. M. **Censo de Física Básica**. São Paulo: Edgard Bluchar, 1986.
- OKUNO, E. C. e CHOC, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1982.
- PATY, M. **Endoreferência de uma ciência formalizada da natureza**. Estudo avançados. v. 6, n.14, p.107-41.,1992.
- PINTO, A. V. **Ciência e existência: problemas filosóficos da pesquisa científica**. São Paulo: Paz e Terra, 1979.
- POINCARÉ, H. **O valor da ciência**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.
- POPPER, K. **A teoria dos quanta e o cisma da Física pós escritos a lógica da descoberta científica**. v. III, Trad. N. F. da Fonseca. Lisboa: Dom Quixote, 1989.
- \_\_\_\_\_. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Harbra, 1988.
- ZYLBERSZTAJN, A. **Concepções espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino**. Revista do Ensino da Física, 5(2), Dez.,1982.
- \_\_\_\_\_. **Epistemologia do Ensino da Física**. Atas do II Escuela Latinoamericana de Enseñanza de la Física. Canela, jul. 1993.