

## UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A ÁREA DE PESQUISA “FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO”

(A review on the “Modern and Contemporary Physics at High School” research area)

**Fernanda Ostermann** [fernanda@if.ufrgs.br]  
**Marco Antonio Moreira** [moreira@if.ufrgs.br]  
Instituto de Física  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
C.P 15051  
91501-970 Porto Alegre, RS

### Resumo

Neste trabalho é apresentada uma revisão da literatura sobre a linha de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio” realizada com consulta a artigos em revistas, livros didáticos, dissertações, teses, projetos e navegações pela internet, que abordam essa questão. A pesquisa concentrou-se em publicações direcionadas ao ensino da Física e engloba os primeiros trabalhos publicados nessa linha (final da década de 70). Os trabalhos encontrados foram classificados em seis grandes grupos. Foi possível verificar, por exemplo, que há uma grande concentração de publicações que apresentam temas de FMC, em forma de divulgação, ou como bibliografia de consulta para professores do ensino médio. Por outro lado, existe uma escassez de trabalhos sobre concepções alternativas de estudantes acerca de tópicos de FMC, bem como pesquisas que relatam propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem.

**Palavras-chaves:** Física no ensino médio, Física Moderna e Contemporânea.

### Abstract

This paper presents a review of the literature regarding the subject “Modern and Contemporary Physics (MCP) at secondary school level” based on research papers, textbooks, master’s and doctoral’s dissertations, curriculum projects, and internet papers, approaching this topic. This review focus on publications targeting the teaching of physics and includes the first studies in this line of research published in the late seventies. Six large categories of studies were identified. Among them, it was possible to identify a clear concentration of studies presenting MCP topics as popularization of science or as bibliographical reference for high school teachers. Just a few studies were found concerning students’ misconceptions about MCP topics as well as regarding classroom proposals with actual learning outcomes.

**Key-words:** high school physics, modern and contemporary physics.

### 1. Introdução

A presente revisão envolveu consulta a artigos em revistas, livros didáticos, dissertações, teses, projetos e navegações pela INTERNET, que abordam a questão da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio. A pesquisa concentrou-se em publicações direcionadas ao ensino da Física e foi um importante subsídio para o desenvolvimento de uma pesquisa sobre o tema (Ostermann, 1999, 2000; Ostermann e Cavalcanti, 1999; Ostermann e Moreira, 1998, 1999; Ostermann et al, 1998 a e b).

Os seguintes aspectos foram destacados nas referências consultadas:

- ? justificativas para a inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio;
- ? questões metodológicas, epistemológicas, históricas referentes ao ensino de FMC; estratégias de ensino e currículos;
- ? concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de FMC;
- ? temas de FMC apresentados como divulgação ou como bibliografia de consulta para professores de nível médio;
- ? propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem;
- ? livros didáticos de nível médio que inserem temas de FMC.

Nos Estados Unidos e, provavelmente, em nível internacional, a preocupação com o ensino de FMC nas escolas e nos cursos universitários introdutórios começou, ou intensificou-se, com a “Conferência sobre o Ensino de Física Moderna”, realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois, em abril de 1986, na qual, aproximadamente, 100 professores interagiram com cerca de 15 físicos. O objetivo específico da conferência era promover a abordagem de tópicos de pesquisa em Física, em especial Física de Partículas e Cosmologia, no ensino médio e em cursos introdutórios de graduação (Aubrecht, 1986).

## 2 Justificativas

Para Terrazzan (1992,1994), a tendência de atualizar-se o currículo de Física justifica-se pela influência crescente dos conteúdos contemporâneos para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a necessidade de formar um cidadão consciente e participativo que atue nesse mesmo mundo.

Na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física (Barojas, 1988), foi organizado um grupo de trabalho para discutir o ensino de Física Moderna. Na discussão, foram levantadas inúmeras razões para a introdução de tópicos contemporâneos na escola média. Dentre elas destacam-se:

- ? despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- ? os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual idéias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- ? é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- ? é mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;
- ? Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la.

Stannard (1990) justifica a atualização curricular ao relatar um levantamento feito com estudantes universitários que mostrou que é a Física Moderna - relatividade restrita, partículas

elementares, teoria quântica, astrofísica - que mais os influencia na decisão de escolher Física como carreira. Em outro estudo, com o objetivo de preparar um livro introdutório sobre relatividade geral, o autor entrevistou 250 crianças de cerca de 12 anos para saber o que elas conheciam sobre tópicos relevantes ao assunto (gravidade, aceleração). Surpreendentemente, encontrou que um terço já havia ouvido falar em buracos negros e tinha uma vaga idéia do que se tratava. Um número razoável relacionava Big Bang com origem do universo. Elas mostraram-se intrigadas por estes tópicos e desejavam saber mais a respeito. O que sabiam, haviam aprendido pela televisão e através de filmes de ficção científica (e não sabiam que tais idéias interessantes vêm “sob o rótulo” de Física). Stannard, ao analisar os currículos secundários de Física, critica-os por darem a impressão de terem sido escritos há cem anos (como se nada tivesse ocorrido na Física deste século). O autor sugere que sejam escritos livros e textos com abordagens inovadoras de FMC como forma de encorajar a revisão curricular.

Torre (1998a) enuncia várias razões para justificar a necessidade de ensinar FMC na escola:

- ? conectar o estudante com sua própria história;
- ? protegê-lo do obscurantismo, das pseudociências e das charlatanias pós-modernas;
- ? que o aluno possa localizar corretamente o ser humano na escala temporal e espacial da natureza;
- ? FMC possui múltiplas e evidentes conseqüências tecnológicas;
- ? por sua beleza, pelo prazer do conhecimento, porque é uma parte inseparável da cultura, porque o saber nos faz livres e valoriza a humanidade.

Gil et al. (1987) acreditam que o ensino de FMC a alunos secundaristas se reveste de grande importância, uma vez que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para dar uma imagem mais correta desta ciência e da própria natureza do trabalho científico. Esta imagem deve superar a visão linear, puramente cumulativa do desenvolvimento científico.

Paulo (1997) considera pertinente a introdução de FMC no ensino médio, visto que esta faz parte do cotidiano da sociedade contemporânea. Ao ter noções de tópicos de FMC, o aluno dará sentido à Física, fazendo relações com o mundo que o cerca. Acredita, também, que a introdução da FMC no currículo das escolas pode proporcionar a superação de certas barreiras epistemológicas fundamentais para o conhecimento do indivíduo sobre a natureza. Para esse autor, o entendimento de FMC fará o indivíduo ter uma capacidade cognitiva maior.

Eijkelhof et al. (1984) defendem que o tema “armas nucleares” seja ensinado nas aulas de Física do ensino secundário, considerando que o objetivo central é que os estudantes possam ter um maior entendimento acerca do debate público que acontece em torno desta questão. Aubrecht (1989) justifica a necessidade da atualização curricular nas escolas, nos “colleges” e nas universidades norte-americanas, atestando a existência de uma dicotomia, proposta por dois físicos da Universidade de Maryland:

*se um físico do século XIX fosse solicitado a ensinar Física em um nível introdutório usando um texto atual, ele o faria sem grandes dificuldades. Mas se este mesmo físico tentasse ler **Physical Review Letters** ou **Physical Review** ou falar sobre pesquisas atuais de Física, isto seria impossível para ele.*

Em um estudo feito em 1964, comparando textos desta época com um de 1850, encontrou-se pouca diferença entre eles quanto à organização de conteúdos (op. cit., 1989).

Aubrecht (ibid.) também comenta que a introdução de aspectos de FMC nos cursos de Física pode servir para renovar o ensino. O uso de tópicos de FMC pode permitir que o professor mantenha ou até mesmo desperte o interesse pelas ciências que as crianças trazem para a escola.

Kalmus (1992) relata um levantamento feito, no ano de 1984, junto a calouros de Física. Através de um questionário (enviado a todos os departamentos de Física do Reino Unido) os estudantes foram solicitados a listar, em ordem de preferência, três tópicos que mais os influenciaram na escolha pela carreira de físico. Os três tópicos mais listados foram: relatividade, astronomia e partículas elementares, isto é, temas de FMC.

Wilson (1992), que leciona em escolas londrinas no nível A (A-Level)<sup>1</sup>, temas de FMC ressalta a importância da inclusão de tópicos “up to the minute” nas escolas. O entusiasmo dos estudantes em aprender, na própria escola, assuntos que lêem em revistas de divulgação ou em jornais justifica, definitivamente, a necessidade da atualização curricular, segundo o autor. Além disso, FMC pode ser instigante para os jovens, pois não significa somente estudar o trabalho de cientistas que viveram centenas de anos atrás, mas também assistir cientistas falando na televisão sobre seus experimentos e expectativas para o futuro. Estudar problemas conceituais existentes na FMC envolve os estudantes nos desafios filosóficos de alguns aspectos da Física. O fato de que nem tudo, no mundo científico, é sabido ou entendido, modifica a idéia que os estudantes em geral têm de Física - um assunto que é uma “massa” de conhecimentos e fatos, um livro fechado. Ou são mostrados aos alunos os desafios a serem enfrentados pela Física no futuro, ou eles não serão encorajados a seguir carreiras científicas. Wilson concorda com Stannard (1990), Aubrecht (1989) e Kalmus (1992) quanto ao interesse que assuntos de FMC nas escolas podem provocar nos alunos, acabando por atraí-los para as carreiras de Física.

Swinbank (1992) comenta que temas como Física de Partículas e Cosmologia despertam interesse nos jovens e pergunta qual professor que nunca foi solicitado a “explicar” quarks e a expansão do universo.

Pereira (1997) coloca que o mundo contemporâneo é altamente tecnológico e que para compreendê-lo é função da escola, principalmente dos programas de Ciências Naturais e Sociais e de Física, Química e Biologia, incluir no seu currículo os assuntos relevantes para a formação de um cidadão esclarecido sobre o que o cerca. Uma pessoa que é capaz de tomar suas decisões, assim como desempenhar sua função social e econômica de forma condizente com a época em que vive.

Em uma pesquisa realizada pelo Museu de Astronomia e Ciências Afins do CNPq, em 1988, sobre a imagem da ciência e da tecnologia junto à população urbana brasileira (27 perguntas do tipo aberto respondidas por 2892 pessoas de todas as regiões urbanas brasileiras), verificou-se, por exemplo, que 25% acreditavam que uma usina nuclear só serve para fabricar bomba atômica e 21% não acreditavam ainda que o homem já conseguiu chegar à lua (idem). Esses resultados, para Pereira (1997), ilustram a desinformação da população brasileira e reforçam a necessidade da inserção de tópicos relacionados à Física Contemporânea nos currículos escolares.

Valadares e Moreira (1998) também concordam que é imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional. É importante a introdução de conceitos básicos de FMC e, em especial, fazer a ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. Por outro lado, Laburú et al. (1998) ressaltam, de uma forma irônica, que “devem os alunos secundaristas estudar FMC do século XX, antes que ela acabe”.

Carvalho et al (1999) apresentam o papel da Mecânica Quântica na cultura científica, tecnológica e filosófica do século XX como justificativa para sua introdução no ensino médio.

---

<sup>1</sup> “A-Level” é um curso pré-universitário dirigido a estudantes entre 16 e 18 anos.

Assim, pode-se constatar que há muitas justificativas na literatura que nos permitem lançar uma hipótese: há uma tendência nacional e internacional de atualização dos currículos de Física e muitas justificativas para tal. No entanto, como veremos a seguir, ainda é reduzido o número de trabalhos publicados que encaram a problemática sob a ótica do ensino e, mais ainda, os que buscam colocar, em sala de aula, propostas de atualização.

### **3. Questões metodológicas, epistemológicas, históricas, referentes ao ensino de FMC; estratégias de ensino e currículos**

A grosso modo, têm sido consideradas três vertentes representativas de abordagens metodológicas para a introdução de FMC no ensino médio: exploração dos limites dos modelos clássicos; não utilização de referências aos modelos clássicos; escolha de tópicos essenciais (e.g., Alvetti e Delizoicov, 1998; Terrazzan, 1994; Pereira, 1997; Camargo, 1996; Paulo, 1997).

#### **3.1 As três vertentes principais**

A primeira vertente - *exploração dos limites clássicos* - deve-se aos trabalhos de Gil e Solbes da Universidade de Valência, Espanha. Estes autores, em um de seus trabalhos (Gil et al., 1988), mostram, a partir de uma análise de 42 livros didáticos de Física da Espanha, que a maioria destes não fazia nenhuma referência:

- ? ao caráter não linear do desenvolvimento científico;
- ? às dificuldades que originaram a crise da Física Clássica;
- ? às profundas diferenças conceituais entre a Física Clássica e a Moderna.

Para os autores, esta visão simplista com que a Física Moderna é ensinada nas escolas provoca sérias concepções alternativas. Através de um questionário respondido por 536 alunos, entre 16 e 18 anos, eles verificaram que a grande maioria ignorava a existência de uma crise no desenvolvimento da Física Clássica, desconhecia a diferença entre Física Moderna e Clássica e apresentava uma série de confusões conceituais sobre questões acerca da dualidade onda-partícula, equação de Einstein ( $E = mc^2$ ), partícula elementar. Gil e Solbes (1993) sugerem, então, uma abordagem construtivista para o ensino de FMC na qual a orientação tradicional de ensino-aprendizagem, que enfatiza a simples transmissão/recepção de conhecimento, é substituída por um currículo que envolve os alunos em “atividades” e os coloca em situações problemáticas através das quais o conhecimento pode ser (re)construído. Os conceitos de FMC foram introduzidos tendo-se como referencial um modelo construtivista de ensino-aprendizagem na perspectiva da mudança conceitual e metodológica (Gil e Solbes, 1993; Gil et al., 1987; Solbes et al., 1987). As quatro primeiras atividades, que constituem a introdução ao programa completo, envolveram:

1. revisão das principais contribuições da Física Clássica;
2. formação de uma imagem do conceito de matéria compatível com a Física Clássica;
3. reconhecimento de que a Física é uma construção e que pode não resolver alguns problemas relevantes. Reconhecimento, ao mesmo tempo, que a física pré-galileana foi substituída pelo novo paradigma clássico;
4. concepção da Física Clássica como um corpo coerente de conhecimentos que consegue explicar quase todos os fenômenos conhecidos no século XIX, falhando em uns poucos casos. Enumeração destes problemas não resolvidos.

O programa completo de atividades foi aplicado em 180 alunos (entre 16 e 18 anos) e os resultados obtidos foram satisfatórios (Gil et al., 1988). Também nessa vertente metodológica, Carvalho et al (1999) defendem a exploração dos limites clássicos como estratégia para a introdução dos novos tópicos, e apresentam resultados de experiência didática implementada.

A segunda vertente - *não utilização de referências aos modelos clássicos* - é atribuída às pesquisas de Fischler e Lichtfeldt da Universidade Livre de Berlim, Alemanha. Em grande parte como oposição à corrente anterior, Fischler e Lichtfeldt (1992) consideram que a aprendizagem de Física Moderna é dificultada porque o ensino, frequentemente, usa analogias clássicas. Por exemplo, o átomo de Bohr, uma vez aprendido, passa a ser um obstáculo para o entendimento de idéias modernas. Uma nova concepção de abordagem da Mecânica Quântica para o nível secundário é sugerida, a partir de cinco premissas básicas (idem):

- ? referências à Física Clássica devem ser evitadas;
- ? introdução do efeito fotoelétrico a partir das características dos elétrons e não das dos fótons;
- ? interpretação estatística do fenômeno deve ser usada e descrições dualistas devem ser evitadas;
- ? relação de incerteza de Heisenberg deve ser introduzida no começo (e formulada para objeto quânticos);
- ? exclusão do modelo de Bohr no tratamento do átomo de hidrogênio.

A estrutura de uma unidade didática organizada para 32 aulas tinha a seguinte seqüência (Fischler e Lichtfeldt, 1992):

1. difração de elétrons;
2. experimento de dupla fenda com elétrons;
3. princípio de incerteza de Heisenberg;
4. quantização de energia para um potencial poço - quadrado e para o átomo de hidrogênio;
5. experimento de Franck-Hertz e análise espectroscópica;
6. objetos quânticos de luz: fótons;
7. problemas de interpretação.

Segundo esses autores, os resultados da aplicação desta unidade em 11 cursos secundários de Física de Berlim foram satisfatórios (ibid.).

A terceira vertente - *escolha de tópicos essenciais* - é a contribuição de Arons, da Universidade de Washington, Estados Unidos. Arons (1990, apud Terrazzan, 1994) propõe que poucos conceitos de Física Moderna devam ser ensinados no nível médio. O importante, em um curso introdutório de Física Moderna, é proporcionar aos alunos “alguma percepção” sobre conceitos como: elétrons, fótons, núcleos, estrutura atômica. Defende também a busca de sustentação na Física Clássica para a abordagem de tópicos da Física Moderna. Com a opção de restringir o número de tópicos passíveis de discussão na escola média, Arons (1990) afirma que existem lacunas na programação escolar pois sempre é preciso “deixar algo de fora” ao organizar-se um currículo. Na abordagem de tópicos de FMC, deve-se buscar na Física Clássica apenas o essencial para que o tópico proposto seja compreendido. De certa forma, a seleção de pré-requisitos permeia esta proposta.

### **3.2 Outras propostas metodológicas**

Terrazzan (1994) acredita que deva existir uma abertura para a adoção de metodologias adequadas para cada tópico a ser abordado. É o professor que deve “refinar” a escolha metodológica de acordo com seu estilo e predileção. No entanto, reserva um papel destacado à história da ciência no ensino desta temática e à utilização de experiências de pensamento como recurso didático para a construção ou esclarecimento de conceitos difíceis e de natureza controversa.

Farmelo (1992), ao relatar quatro tópicos de Física de Partículas de um curso introdutório para estudantes universitários de “Open University”, Inglaterra, mostra relações de importantes desenvolvimentos nesta área com aspectos históricos e epistemológicos. Por exemplo, a descoberta da partícula  $\pi^+$ , para Farmelo, ilustra com indiscutível clareza a filosofia de Popper. Por outro lado, a descoberta do méson  $J/\psi$  é para ele um exemplo de um episódio kuhniano da história da ciência. O autor defende que nos cursos secundários este tema seja ensinado com esse viés histórico/epistemológico.

Aubrecht (1989), ao criticar a inserção de tópicos de FMC nos últimos capítulos dos livros-texto dos cursos universitários, sugere que novos livros sejam escritos para que se possa “salpicar” temas contemporâneos na Física Clássica. Ou melhor ainda, “salpicar” temas clássicos na Física Contemporânea. Além de sugerir que alguns tópicos clássicos sejam eliminados, Aubrecht (1989) afirma que uma abordagem profunda e rigorosa de um número limitado de tópicos é mais eficiente do que uma introdução enciclopédica de um assunto amplo.

Uma experiência de três anos de testagem de uma proposta didática de introdução de tópicos de Física Quântica nos cursos superiores de nível médio na Itália, em particular, no 5º ano do “Liceo Scientifico Statale”, é relatada por Stefanel (1998). A abordagem desenvolvida tem uma estrutura que pode ser esquematizada em quatro níveis de intervenção (idem p. 38):

1. experiências introdutórias e apresentação de um cronograma de referência sobre o nascimento da teoria quântica (5-6 horas);
2. aprofundamento quantitativo sobre efeito fotoelétrico, efeito Compton, fóton, experiência de Frank-Hertz e os modelos atômicos, princípio da incerteza (5-6 horas);
3. princípios básicos de teoria quântica: interpretação probabilística da função de onda e do princípio de superposição (5-7 horas);
4. aplicações dos conceitos de Física Quântica para explicar as propriedades da matéria (6-8 horas).

Os aspectos metodológicos desta proposta envolveram:

- ? formar sólidos pré-requisitos ainda no 4º ano;
- ? realizar atividades de laboratório;
- ? recuperar aspectos históricos do tema;
- ? desenvolver o ensino segundo um “processo espiralado” de sucessivos refinamentos e aprofundamentos.

A avaliação dos alunos sugeriu que os resultados de aprendizagem foram satisfatórios. No entanto, Stefanel (1998) concluiu que, entre outros aspectos, é preciso maior pesquisa acerca do ensino de FMC para verificar, por exemplo, se a utilização de modelos clássicos está ou não relacionada à formação de erros conceituais e se é possível analisá-los para construir uma eficiente abordagem didática.

Veit et al. (1987) apresentam um programa - aula para o nível médio sobre efeito fotoelétrico via computador. A motivação para utilizar-se o computador no ensino deste tema, segundo os autores, centra-se na pouca tradição didática da área de FMC e carência de equipamentos e outros materiais instrucionais como, por exemplo, textos adequados. Os autores colocam que o uso do computador para o ensino de FMC justifica-se plenamente pois, ao contrário de vários temas clássicos, diversas experiências de FMC não podem ser realizadas em “situação real de laboratório”.

Através da chamada “física do cotidiano”, Valadares e Moreira (1998) apresentam sugestões conceituais e práticas, de como introduzir no ensino médio tópicos de FMC relacionados com o cotidiano dos alunos. São considerados três tópicos: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro, enfatizando-se algumas de suas aplicações através de experiências simples e acessíveis a escolas com modestos recursos financeiros. Também nesta linha Laburú et al. (1998) descrevem o funcionamento dos mostradores de cristais líquidos, empregados na maioria dos “displays” de relógios, calculadoras, mostrando que, com alguns conceitos já trabalhados na escola (como eletricidade e polarização), é possível introduzir um assunto contemporâneo nas aulas de nível médio.

Cuppari et al. (1997) relatam um trabalho de aplicação de conceitos básicos de Mecânica Quântica no 3º ano do “Liceo Scientifico” de uma escola de ensino médio na Itália. A metodologia empregada buscou enfatizar os aspectos comuns entre a Física Moderna e a Clássica. A estratégia foi inspirada na derivação original de Planck da existência de uma granularidade (“granularity”), fundamental no espaço de fase - uma ação elementar  $h$ . O objetivo principal da estratégia foi a introdução da constante de Planck a partir de exemplos clássicos de movimentos periódicos.

Lawrence (1996) apresenta uma estratégia, elaborada por professores universitários e secundários, para abordar conceitos de Física Quântica para alunos do 1º ano de um curso pré-universitário de dois anos (idade aproximada dos alunos - 17 anos), na Inglaterra. O ponto central desta abordagem é o uso de dispositivos modernos para o desenvolvimento de idéias centrais, tais como quantização, dualidade onda-partícula, não localidade, tunelamento. Por exemplo, com uma lâmpada incandescente e um LED é construído um modelo que sugere que a energia apresenta-se em “pacotes”. O autor comenta que esta proposta foi testada em um grupo de alunos do nível-A (“A-Level”), mas não apresenta resultados de aprendizagem.

Eijkelhof et al. (1984) apresentam uma experiência de ensino na Holanda em um currículo escolar com a ênfase “ciência-tecnologia-sociedade” no qual há uma unidade intitulada “armas nucleares”. A metodologia empregada busca integrar esta questão nos assuntos já discutidos nas aulas, encarando a Física não só como uma coleção de leis e teorias, mas também como uma atividade social, envolvendo o estudo de aplicações tecnológicas e conseqüências sociais. A avaliação desta experiência com alunos entre 17 e 18 anos mostrou que a unidade sobre armas nucleares é um de seus tópicos favoritos.

Analisando o ensino de Física Moderna no nível A (“A-Level”) e na universidade, na Inglaterra, Jones (1991) critica a ênfase que é dada ao efeito fotoelétrico e à velha Mecânica Quântica. O autor questiona a abordagem estritamente histórica com que os temas são abordados, processo este que, em outras áreas, não é tão explicitamente observado. O efeito fotoelétrico, apesar de ser considerado o núcleo central da introdução da Física Moderna, é para Jones apenas uma das conseqüências da análise de Einstein sobre a interação da matéria e o campo de radiação (“radiation field”). Segundo Jones, o experimento do efeito fotoelétrico não é a pedra angular da Mecânica Quântica e, portanto, construir o ensino “em cima” do conceito de fóton não é somente uma grande simplificação mas também uma imagem falsa que pode ficar nas mentes dos estudantes.

Em síntese, pode-se verificar que, além de ser um tanto escassa a literatura a respeito de questões metodológicas sobre o ensino da FMC nas escolas, há várias divergências a respeito de que caminho deve ser seguido. Em particular, o papel das analogias clássicas para o entendimento dos conceitos modernos, a ênfase ou não em pré-requisitos, a abordagem histórica ou “lógica” são pontos que geram muitas discordâncias. Como bem sugere Stefanel (1998), este movimento de reformulação curricular apenas se inicia e muitas pesquisas serão necessárias ainda para que possamos entender melhor esta complexa problemática.



#### 4 Concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de FMC

Paulo (1997), investigando concepções de alunos do ensino médio sobre a natureza da luz e a estrutura do átomo, encontrou resultados tais como:

- ? a luz, para a maioria dos alunos, é constituída por raios luminosos, por “varetas rígidas e finas”;
- ? é predominante a concepção de que, no átomo, o formato das camadas eletrônicas é elíptico ou circular, que estas camadas constituem apenas um método de se compreender melhor o átomo, não correspondendo a uma realidade física e que não há qualquer conexão entre a emissão/absorção de luz e mudança de orbital por parte do elétron.

Solbes et al. (1987), ao estudarem a introdução dos modelos quânticos na escola e no 1º ano universitário, na Espanha, através da análise de 56 livros-texto, encontraram que, de maneira global, esta ocorre de forma incorreta e confusa. Por exemplo, a maioria dos textos para o nível médio não aborda o efeito fotoelétrico como ruptura com a Física Clássica. Com relação à dualidade onda-partícula, alguns livros continuam encarando-a como proveniente de algumas deficiências técnicas. Os autores assinalam que erros conceituais em livros constituem uma das fontes mais importantes das concepções alternativas que os alunos possuem.

Lijnse et al. (1990) relatam um estudo sobre radioatividade, em escolas alemãs de ensino médio, cujos dois grandes objetivos eram:

- ? obter uma imagem geral e representativa sobre a maneira pela qual informações sobre radioatividade e processos radioativos são veiculados pelos meios de comunicação sobre o acidente de Chernobyl;
- ? obter uma imagem geral e representativa das idéias de estudantes secundários (entre 15 e 16 anos) sobre radioatividade e processos radioativos no contexto do acidente, antes das aulas sobre o assunto nas escolas.

Os resultados mostraram que há, em vários aspectos, similaridades entre as respostas dos estudantes e a informação veiculada nos meios de comunicação. Do ponto de vista científico, as informações na imprensa sobre o acidente de Chernobyl eram, em geral, conceitualmente incorretas e insuficientes, resultando em percepções problemáticas sobre os riscos envolvidos. Estas refletiram o domínio social do qual o pensamento dos alunos se origina e também sofre reforço, de uma maneira que pode contrariar os objetivos do ensino de Física.

De Posada Aparicio e Prieto Ruz (1990), ao investigarem alguns aspectos sobre radioatividade que são familiares para estudantes de nível médio, também encontram que sua principal fonte de conhecimento é extra-escolar, basicamente, notícias científicas divulgadas pelos meios de comunicação.

Uma pesquisa sobre concepções alternativas de professores de ensino médio (e não de alunos) acerca da Teoria da Relatividade é relatada por Alemañ Berenguer (1997). Este tema está nos programas de Física das escolas espanholas, no entanto, o autor questiona o estilo didático, os enfoques com que tem sido tratado e aponta os erros conceituais mais comuns dos docentes de nível médio. Em síntese, os erros mais frequentes cometidos pelos professores referem-se à tendência de explicarem as idéias relativistas através de noções newtonianas, o que conduz à confusão de conceitos e a uma interpretação inadequada de fenômenos cujos significados variam radicalmente de uma teoria a outra. Estas concepções errôneas mostraram similaridade com as muitas encontradas em livros-texto de nível pré-universitário e universitário (idem p. 302). Também na linha de concepções de professores, Mota (2000) examina a formação dos

licenciados e licenciandos em Física – com entrevistas, análise de currículo e livro-texto – no que diz respeito à formação em tópicos sobre fundamentos e interpretação da Mecânica Quântica.

Também nesta linha de concepções errôneas em livros sobre Relatividade, Warren (1976) analisa, em particular, as interpretações modernas que são dadas à relação massa-energia proposta por Einstein. Gradualmente, a partir da década de 60, foram surgindo derivações erradas da relação  $E=mc^2$  que, segundo Warren, estão em desacordo com a teoria relativística e que carecem de coerência lógica. Duas classes de erros são as mais freqüentes:

1. supõe-se que a relação de Einstein distingue algum tipo particular de energia (usualmente energia nuclear) de outros tipos;
2. imagina-se que Einstein mostrou ser falsa a conservação de energia ou a conservação de massa ou ambas.

O autor discute os conceitos de conversão, matéria e massa de repouso e aponta que os erros publicados em livros refletem-se nas concepções que os estudantes apresentam. Em um teste com 147 calouros dos cursos de Ciências e Engenharia, verificou-se que 115 estudantes consideravam que a relação massa-energia só se aplica à energia nuclear (Warren, 1976, p. 54).

É ainda reduzido o número de publicações que tratam de concepções alternativas sobre tópicos de FMC. Em geral, estas foram associadas aos erros conceituais dos livros-texto e de informações veiculadas pela mídia.

## **5. Temas de FMC apresentados na literatura como divulgação científica ou como bibliografia de consulta para professores e alunos.**

A seguir, apresentamos uma lista de temas que aparecem na literatura e suas correspondentes referências<sup>2</sup>. A idéia inicial é mostrar que há maior concentração de referências nos temas: relatividade, partículas elementares e mecânica quântica. Por outro lado, este item, temas de FMC como divulgação científica ou bibliografia de consulta, é o de maior número de publicações, se comparado aos outros seis itens apresentados na introdução deste trabalho para classificação dos trabalhos.

- ? Relatividade (Arruda e Villani, 1996; Warren, 1976; Whitaker, 1976; Ireson, 1996; Kirsh e Meidav, 1987; Alemañ Berenguer, 1997; Villani e Pacca, 1987; Toledo et al., 1997; Alvarenga e Máximo, 1997; Amaldi, 1995; Hewitt, 1992);
- ? Armas nucleares (Eijkelhof et al., 1984);
- ? Efeito fotoelétrico (Valadares e Moreira, 1998; Veit et al., 1987; Jones, 1991; Silva, 1993);
- ? Laser (Valadares e Moreira, 1998; Schewe, 1981; Camargo, 1996; Alvarenga e Máximo, 1997; Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 1993);
- ? Emissão de corpo negro (Valadares e Moreira, 1998);
- ? Polaróides (Laburú et al., 1998);
- ? Cristais líquidos (Laburú et al., 1998);
- ? Supercondutividade (Gough, 1998; Shukor e Lee, 1998; Dull e Kerchner, 1994; Guarner e Sánchez, 1992; Alvarenga e Máximo, 1997);
- ? Interações fundamentais (Moreira, 1990; O'Connell, 1998);
- ? Partículas elementares (Holton et al, 1970; Ryder, 1976; Lederman, 1982; Fundamental Particles and Interactions Chart Committee, 1988; Moreira, 1989; Galetti, 1990; Farmelo, 1992; Jones, 1992; Swinbank, 1992; Barlow, 1992; Allday, 1997; Contemporary Physics Education Project, 1998; Fermilab, 1998; Particle Physics and

<sup>2</sup> Nesta seção, alguns trabalhos são dirigidos ao ensino superior.

- Astronomy Research Council, 1998; Alvarenga e Máximo, 1997; Amaldi, 1995; Ryder, 1992);
- ? Experimentos de FMC (Arruda e Filho, 1991; Terini et al., 1994; Marinelli, 1989; Alvarenga e Máximo, 1997; Amaldi, 1995, Dunne et al., 1998);
  - ? Caos (Silveira, 1993);
  - ? Radioatividade (Cruz, 1987; McGeachy, 1988; Lijnse et al., 1990; De Posada Aparício e Prieto Ruz, 1990; Amaldi, 1995; Hewitt, 1992);
  - ? Mecânica Quântica (Torre, 1998b; Solbes et al., 1987a; Gil, 1988; Stefanel, 1998; Paulo, 1997; Cuppari et al., 1997; Lawrence, 1996; Jones, 1991; Fischler e Lichtfeldt, 1992; Solbes et al., 1987b; Coelho, 1995; Hewitt, 1992; Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 1993; Carvalho et al, 1999; Freire e Carvalho, 1997; Mota, 2000);
  - ? Raios cósmicos (Pereira, 1997);
  - ? Astrofísica (Swinbank, 1997).

É possível classificar estas referências da seguinte maneira:

1. apresentação de um tema de FMC;
2. apresentação de alguns aspectos de um tema de FMC e discussão sobre questões de ensino.

### **5.1 Apresentação de temas de FMC**

Allday (1997) discute como as interações na Física Moderna são entendidas via troca de uma partícula mediadora. O autor apresenta vários diagramas de Feynman, explica o que é uma partícula virtual, como uma troca de partículas pode ser atrativa ou repulsiva e como as forças podem levar a decaimentos.

Ryder (1992) descreve o chamado “Modelo Padrão” das partículas elementares e das interações fundamentais e, ao final, coloca algumas questões ainda em aberto dentro do modelo.

Jones (1992) discute os efeitos da Física de Partículas sobre a Cosmologia e Barlow (1992) e Farmelo (1992) apresentam vários aspectos da Física de Partículas. Moreira (1989, 1990) apresenta dois mapas conceituais: um sobre partículas elementares e outro para as interações fundamentais. Lederman (1982) descreve o trabalho desenvolvido no Fermilab, Estados Unidos, fornece um breve histórico da Física de Partículas e da pesquisa básica e aplicada realizada no laboratório. Uma tabela em tamanho de pôster, com os resultados mais importantes das últimas três décadas de Física de Altas Energias, é apresentada pelo FPICC (Fundamental Particles and Interactions Chart Committee, 1988). Esta tabela foi elaborada para uso em escolas ou “colleges” e é acompanhada por uma apostila que esclarece sua estrutura e expande seu conteúdo.

Ryder (1976) relata a descoberta de duas partículas elementares em novembro de 1974: os bósons mediadores da interação fraca. Este trabalho apresenta também as quatro interações básicas, discute as famílias de partículas que interagem fortemente, a unificação das interações fraca e eletromagnética e a proposta, feita à época, do quark charm (um quarto quark a ser adicionado ao modelo de três já existente).

A fusão nuclear com múons é apresentada por Galetti (1990). O autor apresenta este ramo de estudos menos divulgado e conhecido (do que, por exemplo, a fusão a quente) através de uma discussão sobre idéias gerais de fusão a quente, efeitos quânticos na fusão nuclear e a fusão nuclear com múons.

A questão da validade das teorias sobre átomos, núcleos e partículas elementares que é, muitas vezes, questionada por estudantes ou pessoas interessadas em ciência devido à

impossibilidade de se “enxergar/ver” esta microscopia é discutida por Marinelli (1989). A partir de alguns exemplos de Física Nuclear, Marinelli mostra como é possível desenvolver teorias ou comprová-las com métodos indiretos que estudam experimentalmente objetos tão pequenos.

Radioatividade e o acidente de Goiânia, ocorrido em 1987, é o assunto do trabalho de Cruz (1987), o qual busca esclarecer alguns pontos desta questão, de forma acessível ao público não especialista. Cruz, inicialmente, faz uma distinção entre radiação  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  e, ao final, explica como agem estas radiações.

Torre (1998b) coloca como a Relatividade e a Mecânica Quântica, as duas grandes revoluções científicas deste século, introduziram mudanças drásticas no conceito de espaço e tempo, fortemente condicionado pelos sistemas físicos que são objetos da percepção sensorial humana. A Relatividade, para o autor, introduziu a idéia de espaço-tempo “próprio” (a comparação entre duas coordenadas espaciais e temporais é dada pelas transformadas de Lorentz). Já, para Torre, a Mecânica Quântica revolucionou o conceito de localidade (existe uma incerteza associada à posição de um sistema quântico microscópico).

Um tema de Física não-linear é encontrado no trabalho de Silveira (1993), que aborda a questão do determinismo e indeterminismo, previsibilidade e caos. O artigo aponta que as previsões a longo prazo nem sempre são possíveis de serem realizadas de maneira unívoca mesmo que a natureza seja completamente determinada. Além disso, comportamentos caóticos podem acontecer em sistemas descritos matematicamente por equações simples. O autor dá alguns exemplos de tais comportamentos. Este foi o único artigo sobre este assunto encontrado em uma revista de ensino de Física.

Outro tema pouco encontrado em revistas é LASER. Um deles já foi citado anteriormente (Valadares e Moreira, 1998) e o outro é de Schewe (1981). Este último trata-se de um texto bastante detalhado sobre lasers e que basicamente aborda: a produção de laser, características do laser, tipos de laser, técnicas de laser, espectroscopia-laser, aplicações.

Experimentos de FMC são sugeridos nos trabalhos de Arruda (1991), Terini et al. (1994) e Dunne et al. (1998). Arruda (1991) descreve materiais de baixo custo para experiências como: descarga em gases rarefeitos, ionização do ar, produção de ozônio e propagação de ondas eletromagnéticas, espectros atômicos. Dunne et al. (1998) descrevem uma medida direta do tempo de vida do múon realizada em um laboratório do “A-Level”, na Inglaterra. A idéia é proporcionar aos estudantes uma evidência experimental do efeito relativístico da dilatação temporal.

Terini et al (1994) apresenta um “software” que ilustra a experiência realizada por Geiger e Marsden em 1909, com a qual foi possível idealizar um modelo atômico que incluía a idéia de um núcleo com determinadas características. A contribuição deste trabalho é proporcionar a simulação de um experimento cuja realização em laboratório seria impraticável, quer seja pela insuficiência de equipamentos, quer pelo longo tempo necessário para realização das medidas.

O tema “supercondutividade” apareceu como texto informativo em três trabalhos: Gough (1998), Shukor e Lee (1998) e Guarner e Sánchez (1992). O primeiro trata do progresso realizado em termos de aplicações na área de supercondutores a altas temperaturas nos últimos dez anos que se seguiram à descoberta de Bednorz e Müller, em 1986. O segundo aborda a construção de um motor de levitação feito de um material supercondutor de alta temperatura crítica. Este equipamento é sugerido para ser utilizado como demonstração em laboratórios introdutórios de Física. O terceiro trabalho também sugere a construção de um equipamento para demonstração didática: o “passarinho supercondutor” cujo funcionamento está baseado no efeito Meissner.

Na Internet, foi possível encontrar, também sobre o fenômeno de supercondutividade, um guia para o professor de ensino médio (Dull e Kerchner, 1994). O texto aborda vários aspectos do tema: sua história, fundamentos, aplicações, demonstrações, experimentos. No entanto, sua apresentação é bastante superficial, sem explorar os princípios físicos envolvidos.

Na linha de textos paradidáticos de nível médio, há um trabalho de Freire e Carvalho (1997) que apresenta a Mecânica Quântica em uma abordagem histórico-cultural.

Embora os trabalhos citados representem o preenchimento de uma lacuna importante que existe em termos de materiais sobre FMC, muitas vezes, alguns pecam por serem muito densos e demandarem conhecimentos prévios que, em geral, o público-alvo não possui (professores de ensino médio, pesquisadores em ensino, não especialistas nas áreas). Além disso, muitas áreas importantes de FMC estão pouco exploradas nas publicações. Sendo assim, é preciso aumentar o número de tópicos de FMC que os textos abordam e elaborá-los de uma maneira mais crítica e com maior comprometimento com a melhoria do ensino médio.

## **5.2 Apresentação de alguns aspectos de um tema de FMC e discussão sobre questões de ensino**

Ireson (1996) propõe uma nova abordagem para o ensino de relatividade no nível A (“A-Level”), na Inglaterra, que, ao contrário das abordagens que iniciam com a discussão do experimento de Michelson-Morley, parte das concepções dos estudantes baseadas na natureza absoluta do espaço e do tempo. Para definir a noção de observadores em sistemas inerciais, o autor utiliza o que chama de abordagem “looking glass”. Ao considerar uma pessoa em frente a um espelho convexo, Ireson discute os dois postulados da Relatividade Especial. Por exemplo, ao ver sua imagem através de um espelho convexo, uma pessoa pode perceber o fenômeno da contração espacial (op. cit., p. 358).

Farmelo (1992), trabalho já citado anteriormente, também discute questões de ensino ao abordar tópicos de Física de Partículas (descoberta do  $\tau$ , proposta dos quarks, descoberta dos quarks  $c$ ,  $b$  e  $t$ , descoberta dos bósons  $W$  e  $Z$ ). Em particular, o autor mostra relações que estes episódios têm com as epistemologias de Kuhn e Popper.

Conceitos básicos de Mecânica Quântica são apresentados por Fischler e Lichtfeldt (1992) bem como uma nova proposta de ensino, a qual omite qualquer analogia com a Física Clássica. Detalhes deste trabalho já foram apresentados.

Os trabalhos de Solbes et al. (1987), Gil et al. (1988), Solbes (1993), Gil e Solbes (1993) enfatizam a introdução de conceitos básicos de Mecânica Quântica e sugerem uma estratégia de mudança conceitual e metodológica. Estes artigos também já foram discutidos.

Um dos primeiros projetos com a preocupação de introduzir tópicos modernos no ensino médio foi o projeto Harvard, dirigido ao ensino médio norte-americano (Holton, 1970). Em suas unidades 5 e 6, há tópicos de física atômica, nuclear e de partículas.

Um novo projeto com o objetivo de produzir materiais para alunos e professores sobre Física de Partículas para os cursos “A-Level” é descrito por Swinbank (1992). Um pacote (“particle physics resource package”) contendo um guia para o professor, materiais para uso com os estudantes e alguns artigos sobre desenvolvimentos recentes na Física de Partículas foi elaborado por um grupo de físicos e por pessoas experientes na produção e edição de materiais na “Open University”, em Londres. O projeto prevê cursos de aperfeiçoamento em serviço para professores e o pacote está disponível desde 1992 para os centros londrinos de “A-Level”.

Também nesta linha de projetos curriculares, na década de 80, um grupo de desenvolvimento curricular da Universidade de Utrecht (Holanda), engajado no “Physics Curriculum Development Project” (PLON), incluiu materiais sobre partículas fundamentais em uma unidade de ensino para alunos secundaristas. Mais recentemente, o Contemporary Physics Education Project (1998), Califórnia, Estados Unidos, a partir do início da década de 90, com a colaboração entre físicos e professores do ensino médio, está produzindo materiais sobre Física de Partículas para alunos de nível médio.

No Fermilab (1998), Illinois, Estados Unidos, aproximadamente a partir do final da década de 80, também há um movimento da organização de materiais elaborados através da interação entre físicos e professores, no sentido de levar às escolas as descobertas recentes na Física de Altas Energias.

Com relação à Astrofísica, Swinbank (1996) relata um projeto para elaborar um pacote sobre este tema nos moldes do de Física de Partículas. Na realidade, ambos projetos se inserem em um mais amplo chamado TRUMP (The Teaching Resources Unit for Modern Physics) cujo objetivo é inserir Física Moderna nas escolas inglesas do “A-Level”. O pacote tem a mesma estrutura do anterior: guia do professor e materiais para os estudantes. A primeira parte do pacote considerada piloto, envolve a área de “propriedades observacionais dos objetos astronômicos” e o restante estava em fase de elaboração, com previsão de conclusão no ano de 1998.

Dois trabalhos que já foram apresentados mas também podem encaixar-se neste item são os de Valadares e Moreira (1998) e Laburú et al. (1998). Ambos não só discutem temas de FMC como também sugerem várias aplicações que se relacionam com o cotidiano dos alunos.

O primeiro, por exemplo, introduz em duas páginas o efeito fotoelétrico e explica uma possível aplicação: o funcionamento do sistema de iluminação pública. Ao explicar o funcionamento do laser, utilizando uma analogia com remadores, fornece dois exemplos de aplicações práticas: fibras óticas e leitura de código de barras. Estas são sugestões muito interessantes que podem ser levadas diretamente ao ensino médio de Física. Também sobre efeito fotoelétrico, há o trabalho de Silva (1993), no qual são apresentadas opções de exploração do fenômeno no ensino médio com materiais de baixo custo.

É possível perceber que ainda predomina, na literatura, a simples apresentação de tópicos de FMC. No entanto, questões de ensino vêm sendo incorporadas aos trabalhos e, talvez, seja uma tendência em crescimento. A abordagem de temas atuais de Física em revistas dirigidas a professores é, sem dúvida, uma contribuição importante para a atualização curricular. Mas, além disso, é preciso investir na possibilidade de introduzir alguns destes tópicos no ensino médio, verificando resultados da aprendizagem em condições reais de sala de aula. A próxima seção apresenta trabalhos que representam pesquisas nesta direção.

## **6. Propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem**

Nesta seção, foi possível enquadrar onze trabalhos ao todo: nove direcionados à Mecânica Quântica, um sobre armas nucleares e outro sobre raios cósmicos.

### **6.1 Trabalhos sobre Mecânica Quântica**

O grupo de Gil e Solbes tem vários trabalhos direcionados ao ensino de conceitos básicos da Quântica, como detalhados na seção 2.3 (e.g., Gil e Solbes, 1993; Solbes et al., 1987; Gil et al., 1987; Gil et al., 1988). Em um de seus últimos trabalhos, os autores relatam que foi possível obter

os seguintes resultados, com a aplicação de um programa completo de atividades com 180 alunos entre 16 e 18 anos:

- ? apenas de 8 a 30% dos alunos, ao final do curso, ainda ignoravam a existência de uma crise no desenvolvimento da Física Clássica;
- ? somente um terço dos alunos apresentava ainda concepções alternativas sobre dualidade onda-partícula, princípio da incerteza.

Os autores concluem, colocando que:

- ? professores de ensino médio e livros-texto transmitem uma imagem incorreta sobre ciência que ignora a existência de uma crise e mudanças de paradigmas;
- ? como resultado desta orientação, os alunos desenvolvem idéias confusas sobre a evolução do desenvolvimento científico e apresentam sérias concepções alternativas sobre tópicos de Física Moderna;
- ? é relativamente fácil dar uma visão mais correta da Física através de uma abordagem construtivista que leve os alunos a uma mudança conceitual semelhante à mudança histórica do paradigma.

Fischler e Lichtfeldt (1992), através de uma metodologia, de certa forma, contrária à anterior, obtiveram resultados satisfatórios com a unidade de ensino já descrita na seção 3. Ao todo, 270 alunos dos níveis “O-Level”<sup>3</sup> e “A-Level” de escolas de Berlim, divididos em grupo experimental (n=150) e grupo controle (n=120), responderam aos mesmos questionários antes e depois das lições. Em uma comparação entre os dois grupos com respeito à concepção da estabilidade de um átomo, os autores encontraram que, inicialmente, os dois grupos tendiam a apresentar a mesma concepção: os elétrons estão em círculos em torno do núcleo com as forças centrífuga e coulombiana em equilíbrio. No entanto, ao final das aulas, 68% dos estudantes no grupo experimental atribuíram a estabilidade atômica ao princípio de incerteza de Heisenberg, em contraposição a 7% do grupo controle.

Cuppari et al. (1997) descrevem a experiência de introduzir alguns aspectos da Mecânica Quântica em uma escola de Torino (Itália) no 3º ano do “Liceo Scientifico”. O ponto de partida foi uma atividade de laboratório na qual diferentes tipos de movimentos foram estudados (uniforme, queda livre, plano inclinado, movimentos periódicos). Os estudantes foram solicitados a representar a informação não só com os diagramas usuais mas também nas coordenadas espaço de fase. Os movimentos foram então estudados teoricamente, incluindo a análise de energia (cinética, potencial e total). O próximo passo foi definir o conceito quântico “ação”, entendendo sua dimensão e ordem de magnitude em diferentes movimentos macroscópicos. A constante de Planck foi, finalmente, introduzida de uma maneira bem qualitativa. O número total de aulas foi em torno de 12 e um teste de escolha múltipla foi respondido pelos alunos. De acordo com Cuppari et al., este teste mostrou que não há dificuldades maiores para os estudantes se familiarizarem com o conceito de ação e com a constante de Planck.

Conforme descrito na seção 2.3.2, Stefanel (1998) ao tratar Física Quântica no 5º ano de um “Liceo Scientifico” de Udine, Itália, verificou que mais da metade dos alunos incorporou a interpretação probabilística e o princípio de superposição; mais de 60% desenvolveu corretamente estimativas baseadas na relação de indeterminação; enquanto apenas 20% manifestou um domínio dos conceitos-chave da Física Quântica, quando eram propostas perguntas que exigiam uma elaboração mais profunda. Além disso, uma mínima parte dos alunos não foi motivada pela proposta.

---

<sup>3</sup> “O-Level” corresponde ao ensino médio brasileiro (estudantes entre 15 e 17 anos).

Mais recentemente, Pinto e Zanetic (1999) desenvolveram uma experiência junto a uma escola de nível médio do estado de São Paulo sobre a inserção da natureza quântica da luz. A noção de perfil epistemológico, de Gaston Bachelard, foi utilizada como referencial filosófico. Ao todo, foram ministradas doze aulas sobre o tema que, segundo os autores, permitiram resgatar o interesse do estudo da Física para um grande número de alunos. Quanto à aprendizagem dos conceitos envolvidos, os autores consideraram que há muitas questões a responder, mas que a experiência que tiveram mostrou que é possível levar a Física Quântica para o ensino médio.

Todos estes nove trabalhos sobre tópicos de Mecânica Quântica no ensino médio transmitem, com seus resultados de aprendizagem, a possibilidade de êxito na inserção de temas mais atuais nos currículos das escolas. Se por um lado, de certa forma, há um consenso em torno dos aspectos quânticos a serem ensinados, a questão das metodologias representa um ponto de divergência. Em particular, o papel que a Física Clássica desempenha no entendimento de conceitos quânticos é ainda um ponto bastante polêmico.

## 6.2 Trabalho sobre armas nucleares

Eijkelhof et al. (1984) apresentam uma experiência de ensino na Holanda, em um currículo cuja ênfase é “ciência-tecnologia-sociedade” (CTS), no qual há uma unidade intitulada “Armas nucleares e segurança”. Os alunos (entre 15 e 16 anos), em sua maioria, encararam a unidade como muito interessante e importante e estavam satisfeitos com que haviam aprendido. 65%, por exemplo, consideraram que este tópico deve ser incorporado ao currículo de Física. Por outro lado, os administradores escolares (inspetores, diretores, examinadores), em geral, demonstraram não concordar com a inclusão do tema “armas nucleares” no currículo. A unidade, basicamente, consistia de um texto para leitura. Este aspecto foi criticado pelos alunos que consideraram necessária uma maior variação de métodos de trabalho, como, por exemplo, a elaboração de atividades práticas.

## 6.3 Trabalho sobre raios cósmicos

A introdução da Física dos Raios Cósmicos como tema-âncora para inserir a Física Moderna no ensino médio é proposta por Pereira (1997). O estudo envolveu a organização de três cursos de atualização para professores, de quatro palestras sobre raios cósmicos em diferentes escolas e culminou com a produção de um vídeo sobre radiação cósmica para professores e alunos (acompanhado por um guia de orientação e apoio ao professor). Este vídeo foi avaliado por 13 professores e assistido por um total de 481 estudantes. Alguns defeitos e qualidades foram encontrados na sua utilização. Enquanto que, “clareza”, “é uma novidade”, “prende a atenção dos alunos”, “o assunto é atrativo” foram pontos positivos, as principais dificuldades encontradas pelos professores na sua utilização foram:

- ? falta de conhecimento sobre o assunto para explicar alguns termos técnicos e fenômenos apresentados;
- ? falta de pré-requisitos para os alunos compreenderem completamente os assuntos tratados;
- ? necessidade de um preparo prévio que exige muito tempo e estudo.

Este trabalho representa uma significativa contribuição para suprir a escassez de recursos pedagógicos disponíveis nas escolas brasileiras, principalmente no que se refere a temas mais modernos de Física. No entanto, como mesmo sugere o autor, *é preciso escrever materiais acessíveis ao professor e acoplados aos cursos de formação inicial e continuada. Sem isso, não avançaremos muito na problemática da atualização curricular* (grifo nosso).



## 7. Livros didáticos que inserem temas de FMC

A partir da análise de livros-didáticos de Física para o ensino médio, selecionamos alguns para ilustrar como a abordagem de tópicos de FMC é feita nestes textos.

É importante assinalar que o livro-texto de Física possivelmente mais adotado nas escolas gaúchas (Bonjorno, 1993) não apresenta nenhum tópico de FMC.

### 7.1 *Curso de Física – Alvarenga e Máximo. 4. ed. 3v. Scipione, 1997, 1394p.*

No final de alguns capítulos, há uma seção intitulada “Tópico Especial” (subtítulo: “para você aprender um pouco mais”) que complementa ou amplia o texto propriamente dito, ora desenvolvendo aspectos históricos, ora apresentando aspectos mais modernos relacionados com o capítulo, ou ainda mostrando aplicações curiosas da Física. Usa-se, nesta seção, linguagem simples e um tratamento qualitativo da matéria, com quase nenhum apelo à Matemática.

#### 7.1.1 Alguns exemplos de “Um Tópico Especial” que se referem à FMC.

São indicados o volume, número e título do capítulo, título do tópico especial e itens que constam de cada tópico.

##### 📖 Volume 1

#### Capítulo 6 – Segunda Lei de Newton

Tópico Especial: Limitações da Mecânica Newtoniana

- A validade da Mecânica de Newton e a velocidade dos corpos.
- A Teoria da Relatividade de Einstein.
- A velocidade da luz não depende do sistema de referência.
- A massa de um corpo varia com sua velocidade.
- Existe um limite para a velocidade que um corpo pode adquirir.

##### 📖 Volume 2

#### Capítulo 9 – Conservação da Energia

Tópico especial: A relação massa-energia

- A expressão relativística da energia cinética.
- O significado da equação  $E_c = ? m.c^2$ .
- A redução de massa na fissão nuclear
- A aniquilação de um par
- Potência irradiada pelo Sol.

#### Capítulo 10 – Conservação da Quantidade de Movimento

Tópico Especial: A descoberta do nêutron

- A confiança na lei de Conservação da Quantidade de Movimento
- Rutherford e a existência do nêutron
- A experiência de Chadwick
- Determinação da massa do nêutron
- Chadwick recebe o Prêmio Nobel de Física.

#### Capítulo 12 - Comportamentos dos Gases

Tópico Especial: A evolução do modelo molecular da matéria

- As primeiras idéias
- Daniel Bernoulli e a Teoria Cinética
- Um valor numérico para a velocidade de uma molécula
- A Teoria Cinética adquire sua estrutura definitiva
- O movimento browniano
- Confirmação experimental das idéias de Einstein

### **Capítulo 15 – Reflexão da luz**

Tópico Especial: A velocidade da luz

- Galileu tenta medir a velocidade da luz
- A velocidade da luz não é infinita
- A experiência do físico francês L. Fizeau
- Os trabalhos de Foucault e Michelson
- As enormes dimensões do Universo

### **Capítulo 16 – Refração da Luz**

Dois páginas, neste capítulo, são dedicadas a fibras óticas.

### **Capítulo 17 – Movimento Ondulatório**

Tópico Especial: O Efeito Doppler

- O que é o efeito Doppler
- Fonte em movimento e observador em repouso
- O efeito Doppler ocorre também com a luz
- A expansão do Universo.

## **Volume 3**

### **Capítulo 20 – Potencial Elétrico**

Tópico Especial: O gerador de Van de Graaff

- Altas voltagens necessárias na Física Moderna
- Princípio de funcionamento do gerador de Van de Graaff
- Como funciona o gerador de Van de Graaff
- O gerador de Van de Graaff nos laboratórios de ensino
- A experiência de Millikan – a carga elétrica é quantizada. Millikan determina o valor da carga do elétron.

### **Capítulo 21 – Corrente Elétrica**

Tópico Especial: Variação da resistência com a temperatura

- O valor da resistência elétrica de um condutor depende de sua temperatura.
- A resistência elétrica pode aumentar ou diminuir quando a temperatura aumenta.
- Por que a resistência elétrica dos metais aumenta quando a temperatura aumenta
- Por que a resistência elétrica dos semicondutores diminui quando a temperatura aumenta
- O que é supercondutividade
- Os supercondutores e a transmissão de energia elétrica
- Supercondutividade a “altas temperaturas”.

### **Capítulo 23 – O Campo Magnético (1ª Parte)**

Tópico Especial: O Cíclotron

- Partículas com alta energia são necessárias na Física Moderna
- Princípio de funcionamento do cíclotron.
- Como funciona um cíclotron
- O que é um sincrocíclotron
  - Modernos aceleradores de partículas.

### **Capítulo 24 – O Campo Magnético (2ª Parte)**

Tópico Especial: A descoberta do elétron

- A descoberta dos “raios catódicos”
- Propriedades dos raios catódicos.
- As experiências de J. J. Thomson
- Uma experiência simples que permite obter a razão  $q/m$  do elétron.
- O elétron está presente no átomo de qualquer substância.

## Capítulo 25 – Indução Eletromagnética – Ondas eletromagnéticas

No meio do capítulo, há uma seção intitulada “As unificações das teorias físicas” e uma outra que aborda o laser.

Ao final do livro há um apêndice intitulado “A Nova Física”, com os seguintes aspectos discutidos:

- Uma visão panorâmica
- O mundo do muito pequeno – Quais são as partículas elementares
- O mundo do muito grande
- O mundo das estruturas complexas.

É possível observar, nesta obra, um grande esforço para inserir temas mais modernos de Física nos currículos das escolas. Apesar de serem tratados, já no 1º volume do livro, tópicos da Física deste século, estes aparecem, em geral, como “tópicos especiais”, ao final dos capítulos. Provavelmente, no entanto, isto acarreta sua exclusão devido à prioridade que sempre se tem dado aos assuntos clássicos. No entanto, vale a pena salientar que estes textos foram muito bem escritos: sem faltar com a clareza de idéias, são bastante rigorosos do ponto de vista científico.

### 7.2 *Imagens da Física* – Ugo Amaldi. Scipione, 1995, 536p.

Este livro tem um único volume e cobre áreas da Física que vão da Mecânica Clássica ao Eletromagnetismo. A última parte é dedicada à Física Atômica e Subatômica.

Na parte de Óptica, no capítulo intitulado “A Óptica Ondulatória” (p. 258), aparece uma seção sobre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória da luz. Na parte de Eletromagnetismo, no capítulo sobre Lei de Coulomb, há uma seção final que apresenta a estrutura dos átomos e a experiência de Rutherford. Ainda na parte de Eletromagnetismo, há um quarto capítulo – A Eletrônica e os Computadores – no qual aparecem as seguintes seções:

- ? Os semicondutores
- ? O transistor
- ? Os circuitos integrados
- ? Hardware e software
- ? Os fluxos de informações no interior do computador.

No sétimo capítulo, cujo título é “As ondas eletromagnéticas”, são apresentados os seguintes temas:

- ? Ondas de rádio e microondas
- ? Raios X e raios gama
- ? Rádio
- ? A televisão

As últimas 34 páginas do livro são dedicadas à Física Atômica e subatômica e divide-se em duas partes:

- ? A Relatividade e os quanta
- ? Radioatividade, fissão e fusão nuclear.

Em relação às obras congêneres brasileiras, este livro apresenta, basicamente, dois aspectos positivos:

- ? valoriza conceitos físicos, em detrimento de uma visão excessivamente matemática;
- ? apresenta tópicos da Física de ponta, normalmente negligenciados nos programas de ensino médio como a Relatividade Restrita e a Mecânica Quântica.

### **7.3 *Conceptual Physics – The High School Physics Program – Hewitt, P., Addison-Wesley, 1992, 676p.***

Nesta obra, de volume único, percebe-se que tópicos de FMC estão integrados ao longo dos capítulos e não todos concentrados ao final dos capítulos ou ao final do livro.

Já no capítulo 13 (ao todo são 40 capítulos), que trata das interações gravitacionais, há uma seção dedicada ao tema “buracos negros”. Os capítulos 15 e 16 (os dois últimos da unidade “Mecânica”) abordam aspectos conceituais (que é a ênfase do livro) da Relatividade Especial. O capítulo seguinte (nº 17), que é o 1º da unidade intitulada “Propriedades da Matéria”, é dedicado à natureza atômica da matéria. Os três capítulos da última unidade (Física Atômica e Nuclear) trazem conceitos básicos de Mecânica Quântica, radioatividade, fissão e fusão nuclear.

### **7.4 Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, Editora da USP, 3v, 1993/95**

Nota-se, nos volumes 2 e 3 desta obra, a presença de temas de FMC sob a ênfase da física do cotidiano e da ciência/tecnologia/sociedade.

No volume 2, na parte de Óptica, no capítulo “Processos luminosos: interação luz-matéria”, há uma seção que discute a natureza da luz e o modelo de matéria baseado na Física Quântica. Ao final deste volume, aparece um apêndice o qual trata sobre “Fonte Laser” (p. 323-326) e o átomo de hidrogênio – modelo de Bohr.

No volume 3, dedicado ao Eletromagnetismo, na parte 3, há duas seções que abordam:

- ? a interação de natureza elétrica e seu papel no mundo que nos cerca.
- ? a interação elétrica no átomo e na matéria.

Na parte 5, intitulada “Diodo e transistor: materiais semicondutores” há uma seção que aborda alguns equipamentos entendidos a partir de noções básicas de Física Quântica.

Este livro-texto traz uma contribuição importante ao ensino de Física, uma vez que aborda temas de FMC à luz da ênfase ciência/tecnologia/sociedade. Os alunos podem perceber que, com o estudo de FMC, é possível compreender muito da tecnologia que os cerca.

### **7.5 *Physique, T<sup>erm</sup>S - Durandeu et al. - Collection Durandeu, Paris, 1995, 384p.***

Este é o terceiro volume de um livro-texto de Física muito adotado na França. É dirigido à última série do ensino médio. A obra é dividida em três grandes unidades: Campos e Interações, Oscilações e Óptica. Já no capítulo 1, denominado “Interação Gravitacional”, há uma seção intitulada de “Kepler a Einstein” que introduz noções de relatividade. Os capítulos 2 e 3 tratam, respectivamente, do campo elétrico e magnético e, ao final desta unidade (capítulo 10), explica-se o funcionamento de um acelerador circular de partículas - o Laboratório CERN - localizado na fronteira da França com a Suíça. Duas páginas são dedicadas à estrutura da matéria (quarks, léptons, estrutura atômica, interações fundamentais) e ao Big Bang. Na última unidade (“Óptica”), há um capítulo inteiro sobre o fóton. Alguns pontos que são abordados: efeito fotoelétrico, efeito Compton, dualidade onda-partícula.

O terceiro capítulo desta unidade chama-se “Espectroscopia” e discute espectros de emissão, absorção e o átomo de hidrogênio. O penúltimo capítulo – Laser – é dedicado totalmente às características do Laser, seu princípio de funcionamento, suas aplicações. E, finalmente, o último capítulo – Elementos de Astrofísica – apresenta as aplicações da espectroscopia na Astrofísica e seus métodos observacionais.

Vê-se, portanto, que desde o início há uma “introdução moderna” à Física, quando nos capítulos iniciais já são discutidas, conjuntamente, as interações gravitacional e eletromagnética. Além disso, os tópicos modernos permeiam todo o texto e, muitas vezes, estão ocupando o espaço que, comumente, seria de temas clássicos. É, sem dúvida, uma concepção de livro-texto e de ensino de Física muito diferente do que se encontra nas obras disponíveis no mercado brasileiro.

## 8 Conclusão

Como conclusão deste artigo de revisão da literatura, seria interessante ressaltar que a maior concentração de publicações aparece na seção 5.1 (“apresentação de um tema de FMC”) em contraposição com as seções 4 (“concepções alternativas sobre FMC”) e 6 (“propostas testadas em sala de aula”). É possível que isto demonstre uma necessidade de amadurecimento da linha de pesquisa “FMC no ensino médio”. Parece que há muitas justificativas em favor da atualização curricular e até uma bibliografia que apresenta (não tão aridamente como a literatura especializada) temas modernos. Entretanto, colocar todas estas reflexões na prática da sala de aula é ainda um desafio. Outra questão desafiadora é a escolha de quais tópicos de FMC deveriam ser ensinados nas escolas ou, o que dá no mesmo, de quais temas de FMC deveriam ser objeto de especial atenção na formação de professores de Física com vistas a uma adequada transposição didática para o ensino médio. Em um estudo Delphi que fizemos (Ostermann e Moreira, 1998), com a finalidade de obter uma lista consensual, entre físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do ensino médio, sobre quais tópicos de Física Contemporânea deveriam ser abordados na escola média, se quiséssemos atualizar o currículo de Física neste nível, chegamos a seguinte lista final: *efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas.*

O processo, i.e., a técnica Delphi (Ostermann e Moreira, 1998), que nos levou a esta lista, envolveu três etapas de aproximações sucessivas ao longo das quais verificamos muito interesse, por parte dos envolvidos, na atualização do currículo de Física no ensino médio. Mas constatamos também uma grande diversidade inicial de opiniões, bem como uma falta de acordo entre o que era e o que não era Física Contemporânea. Isso nos sugeriu que seria melhor falar em tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) ao invés de Física Contemporânea que, segundo nosso critério, é a Física desenvolvida no século XX a partir dos anos quarenta.

Naturalmente, um estudo Delphi não pode ser determinante no processo de atualização curricular em Física no ensino médio, mas cremos que contribui e alerta para as dificuldades que serão encontradas nessa direção. Aliás, a presente revisão da literatura pretende ser também uma contribuição para a referida atualização curricular ou, pelo menos, para destacar a necessidade de se trabalhar nesse sentido. Os parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio, recentemente, divulgados pelo Ministério da Educação, também apontam na direção de uma profunda reformulação do currículo de Física na escola média. Da mesma forma, as diretrizes curriculares para os cursos de graduação em Física e para as licenciaturas indicam a urgência das mudanças necessárias no currículo da formação de professores de Física. É, portanto, tempo de mudança. É também, cremos, época de mais pesquisas sobre atualização dos currículos de Física em todos os níveis.

## Referências

- ALEMAÑ BERENGUER, R. A. Errores comunes sobre relatividad entre los profesores de enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 15, n. 3, p. 301-307, nov. 1997.
- ALLDAY, J. The nature of force in particle physics. *Physics Education*, Bristol, v. 32, n. 5, p. 327-332, Sept. 1997.
- ALVARENGA, B., MÁXIMO, A. *Curso de física*. 4.ed., São Paulo: Scipione, 1997. 3v.
- ALVETTI, M. A. S., DELIZOICOV, D. Ensino de física moderna e contemporânea e a Revista Ciência In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 6., 1998, Florianópolis. Atas. Florianópolis: Imprensa UFSC, 1998. 3p., [Seção de Pôsteres]. 1 CD-ROM.
- AMALDI, U. *Imagem da física*. São Paulo: Scipione, 1995.
- ARONS, A. B. *A guide to introductory physics teaching*, New York: John Wiley, 1990.
- ARRUDA, S. M., TOGINHO FILHO, D. O. Laboratório caseiro de física moderna. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 8, n. 3, p. 232-236, dez. 1991.
- ARRUDA, S. M., VILLANI, A. Sobre as origens da relatividade especial: relações entre quanta e relatividade em 1905. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 13, n. 1, p. 32-47, abr. 1996.
- AUBRECHT, G. J. Redesigning courses and textbooks for the twenty-first century. *American Journal of Physics*, Woodbury, v. 57, n. 4, p. 352-359, Apr. 1989.
- \_\_\_\_\_. Report on the conference on the teaching of modern physics. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 24, n. 9, p. 540-546, Dec. 1986.
- BARLOW, R. Particle physics: from school to university. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 92-95, Mar. 1992.
- BAROJAS, J. (Ed.) *Cooperative networks in physics education*. New York: American Institute of Physics, 1988. (AIP Conference Proceedings, 173).
- BONJORNO, R. A. *Física fundamental - 2º Grau*. São Paulo: FTD, 1993.
- CAMARGO, A. J. *A introdução de física moderna no 2º grau: obstáculos e possibilidades*. Florianópolis: Curso de Pós-Graduação em Educação - UFSC, 1996. Diss. mest. Educação.
- CARVALHO NETO, R.A. de, FREIRE Jr. O., ROCHA, J.F.M. Revelando o caráter determinístico da Mecânica Quântica – uma ponte para o ensino de física moderna no segundo grau. *Ideação*, Feira de Santana, v. 3, n.1, p. 51-68, mar. 1999.
- CLOSE, F. *The cosmic onion: quarks and the nature of the universe*. London: Heinemann Educational Books, 1983.
- CONTEMPORARY PHYSICS EDUCATION PROJECT. Disponível na Internet. <http://www-pdg.lbl.gov/cpep.html>. 23 dez.1998.
- CRUZ, F. F. de. S. Radioatividade e o acidente de Goiânia. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 4, n. 3, p. 164-169, dez. 1987.
- CUPPARI, A., RINAUDO, G., ROBUTTI, O., VIOLINO, P. Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. *Physics Education*, Bristol, v. 32, n. 5, p. 302-308, Sept. 1997.
- DE POSADA APARICIO, J. M. , PRIETO RUZ, T. Exploraciones gráficas de ideas extraescolares de los alumnos sobre radiactividad. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 8, n. 2, p. 127-130, mayo 1990.

- DULL, R. W., KERCHNER, H. R. A Teacher's guide to superconductivity for high school students. Disponível na Internet. <http://www.ornl.gov/reports/m/ornl/m3063r1/contents.htm/> 02 abril 1996.
- DUNE, P., COSTICH, D., O'SULLIVAN, S. Measurement of the mean lifetime of cosmic ray muons in the A-level laboratory. *Physics Education*, Bristol, v. 33, n. 5, p. 296-302, Sept. 1998.
- DURANDEAU, J. P., BRAMAND, P., FAYE, P; MRTEGOUTES, R., SAHUN, R., THOMASSIER, G. *Physique*. Paris: Hachette Éducation, 1995.
- EIJKELHOF, H., KORTLAND, K., LOO, F. V. D. Nuclear weapons - a suitable topic for the classroom? *Physics Education*, Bristol, v. 19, p. 11-15, May 1984. Special issue.
- FARMELO, G. Teaching particle physics in the open university's science foundation course. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 96-101, Mar. 1992.
- FERMILAB. Discovering the nature of nature. Disponível na Internet. <http://www.fnal.gov/Fermilab>. 23 dez. 1998.
- FISCHLER, H., LICHTFELDT, M. Modern physics and students' conceptions *International Journal of Science Education*, London, v. 14, n. 2, p. 181-190, Apr./June 1992.
- FREIRE Jr., O., CARVALHO NETO, R.A. *O universo dos quanta – uma breve história da física moderna*. São Paulo: FTD, 1997.
- FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS CHART COMMITTEE. Fundamental particles and interactions. a wall chart of modern physics. *The Physics Teacher*, Story Brook, v.26, n. 9, p. 556-565, Dec. 1988.
- GALETTI, D. Fusão nuclear com múons. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 7, n. 3, p. 203-211, dez. 1990.
- GIL, D. P., SENENT, F., SOLBES, J. Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la Física*, Rosario, v. 2, n. 1, p. 16-21, abr. 1988.
- \_\_\_\_\_. La introducción a la física moderna: un ejemplo paradigmático de cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, p. 209-210, set. 1987. n. extra.
- GIL, D. P., SOLBES, J. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, London, v. 15, n. 3, p. 255-260, May/June 1993.
- GOUGH, C. High temperature superconductors take off. *Physics Education*, Bristol, v. 33, n. 1, p. 38-46, Jan. 1998.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. São Paulo: Editora da USP, v.1 Mecânica, 1993.
- \_\_\_\_\_. São Paulo: Editora da USP, v.2 Física térmica e óptica, 1993.
- \_\_\_\_\_. São Paulo: Editora da USP, v.3 Eletromagnetismo, 1995.
- GUARNER, E., SÁNCHEZ, A. M. The superconducting bird: a didactical toy. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 30, n.3, p. 176-179, Mar. 1992.
- HEWITT, P. G. *Conceptual physics - The high school physics program*. 2. ed. São Francisco: Addison-Wesley, 1992.
- HOLTON, G., RUTHERFORD, J.F., WATSON, F.G. *Project Physics Course*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1970.'
- IRESON, G. Relativity at Alevel: a looking glass approach. *Physics Education*, Bristol, v. 31, n. 65, p. 356-361, Nov. 1996.

- JONES, D. G. C. Cosmology and particle physics. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 76-80, Mar. 1992.
- \_\_\_\_\_. Teaching modern physics -microconceptions of the photon that can damage understanding. *Physics Education*, Bristol, v. 26, n.2, p. 93-98, Mar. 1991.
- KALMUS, P. I. Particle physics at A-level-the universities' viewpoint. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 62-64, Mar. 1992.
- KIRSH, Y., MEIDAV, M. The Michelson-Morley experiment and the teaching of special relativity. *Physics Education*, Bristol, v. 22, n. 5, p. 270-273, Sept.1987.
- LABURÚ, C. E., SIMÕES, A. M., URBANO, A. A. Mexendo com polaróides e mostradores de cristais líquidos (o ensino de Física contemporânea tendo como pano de fundo a física do cotidiano). *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 192-202, ago. 1998.
- LAWRENCE, I. Quantum physics in school. *Physics Education*, Bristol, v. 31, n.5, p. 278-286, Sept. 1996.
- LEDERMAN, L. Unraveling the mysteries of the atom. *The Physics Teacher*, Stony Brook, 20, n. 1, p. 15-20, Jan. 1982.
- LIJNSE, P. L., EIJKELHOF, H. M. C., KLAASSEN, C. W. J. M., SCHOLTE, R. L. J. Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, London, v. 12, n.1, p. 67-78, Jan./Mar.1990.
- MARINELLI, J. R. Enxergando o núcleo atômico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 6, n. 3, p. 234-240, dez. 1989.
- MOREIRA, M. A. Um mapa conceitual para interações fundamentais. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 8, n. 2, p. 133-139, mayo 1990.
- MOREIRA, M. A. Um mapa conceitual sobre partículas elementares. *Revista de Ensino de Física*, São Paulo, v. 11, p. 114-129, dez. 1989.
- MOTA, L.M. *As controvérsias sobre a interpretação da mecânica quântica e a formação dos licenciados em física*. Florianópolis: Faculdade de Educação – UFSC, 2000. Diss. maestr. Educação.
- O'CONNELL, J. Comparison of the four fundamental interactions of physics. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 36, n. 1, p. 27, Jan. 1998.
- OSTERMANN, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, p. 415-436, set. 1999.
- OSTERMANN, F. Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física. Tese de Doutorado. Instituto de Física – UFRGS. 2000.
- OSTERMANN, F., CAVALCANTI, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999.
- OSTERMANN, F., FERREIRA, L. M., CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998a.
- \_\_\_\_\_. *Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio*. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1998b.
- OSTERMANN, F., MOREIRA, M. A. Tópicos de física contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA,



- 6., 1998, Florianópolis. *Atas*. Florianópolis: Imprensa UFSC, 1998. 19p. [Seção de Comunicações Oraís] 1 CD-Rom.
- OSTERMANN, F., MOREIRA, M. A. Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. Aceito para publicação na *Revista de Enseñanza de las Ciencias*. Barcelona. 1999.
- PARTICLE PHYSICS AND ASTRONOMY RESEARCH COUNCIL. At the edge of knowledge. Disponível na Internet. <http://www.pparc.ac.uk/> 07 maio 1998.
- PARTICLE PHYSICS GROUP 97 *Particle physics*. London: Particle Physics and Astronomy Research Council, 1997.
- PAULO, I. J. C. de. *Elementos para uma proposta de inserção de tópicos de física moderna no ensino de nível médio*. Cuiabá: Instituto de Educação – UFMT, 1997. Diss. Mestr. Educação.
- PEREIRA, O. da S. *Raios cósmicos: introduzindo física moderna no 2º grau*. São Paulo: Instituto de Física e Faculdade de Educação – USP, 1997. Diss. maestr. Ensino de Ciências.
- PINTO, A.C., ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34, abr. 1999.
- RYDER, L. The new elementary particles and charm. *Physics Education*, Bristol, v. 21, n. 1, p. 28-32, Jan. 1976.
- \_\_\_\_\_. The standard model. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 66-70, Mar. 1992.
- SCHEWE, P. F. Lasers. *The Physics Teacher*, Stony Brook, 19, n. 8, p. 534-547, Nov. 1981.
- SHUKOR, R. A., LEE, K. H. High temperature superconductor levitation motor. *Physics Education*, Bristol, v. 33, n. 1, p. 47-50, Jan. 1998.
- SILVA, C.J. *O efeito fotoelétrico – contribuições ao ensino de física contemporânea no segundo grau*. São Paulo: Instituto de Física e Faculdade de Educação – USP, 1993. Diss. maestr. Ensino de Ciências.
- SILVEIRA, F. L. da. Determinismo, previsibilidade e caos. *Caderno Catarinense Ensino Física*, Florianópolis, v. 10, n. 2, p. 137-147, ago. 1993.
- SOLBES, J., CALATAYUD, M. L., CLIMENT, J. B., NAVARRO, J. Diseño de un currículum para la introducción del modelo atómico cuántico. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 5, p. 209-210, sept. 1987a. n. extra.
- \_\_\_\_\_. Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v.5, n.3, p. 189-195, nov. 1987b.
- STANNARD, R. Modern physics for the young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990.
- STEFANEL, A. Una experiencia en el marco de la introducción de la física cuántica en la escuela secundaria. *Revista de Enseñanza de la Física*, Rosario, v. 11, n. 2, p. 35-44, nov. 1998.
- SWINBANK, E. Particle Physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 87-91, Mar. 1992.
- \_\_\_\_\_. Developing resources for astrophysics at A-level: The trump astrophysics project. *Physics Education*, Bristol, v.32, n.1, p. 40-45, Jan. 1997.
- TERINI, R. A., CAVALCANTE, M. A., PAES, C. E. de B., VICENTE, V. E. J. de S. Utilização de métodos computacionais no ensino: a experiência de Geiger e Marsden do espalhamento de partículas alfa. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 11, n. 1, p. 33-42, abr. 1994.

- TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.
- \_\_\_\_\_. *Perspectivas para a inserção de física moderna na escola média*. São Paulo: Curso de Pós-Graduação em Educação - USP, 1994. Tese.
- TOLEDO, B., ARRIASSECQ, I., SANTOS, G. Análisis de la transición de la física clásica a la relativista desde la perspectiva del “cambio conceptual”. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 15, n. 1, p. 79-90, mar. 1997.
- TORRE, A. C. de la. Reflexiones sobre la enseñanza de la física moderna. *Educación en Ciências*, v. II, n. 4, p. 70-71, 1998a.
- \_\_\_\_\_. Ser y no estar. esa es la cuestión de la física cuántica. *Revista de Enseñanza de la Física*, Rosario, v.11, n.2, p. 45-49, nov. 1998b.
- VALADARES, E. C., MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago. 1998.
- VEIT, E. A., THOMAS, G., FRIES, S. G., AXT, R., SELISTRE, L. F. O efeito fotoelétrico no 2º grau via microcomputador. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 68-88, ago 1987.
- VILLANI, A., PACCA, J. L. A. Students' spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Education*, London, v. 9, n.1, p. 55-66, Jan./Mar. 1987.
- WARREN, J. W. The mystery of mass-energy. *Physics Education*, Bristol, v. 11, n. 1, p. 52-54, Jan. 1976.
- WHITAKER, M. A. B. Definitions of mass in special relativity. *Physics Education*, Bristol, v. 11, n. 1, p. 55-57, Jan. 1976.
- WILSON, B. Particle physics at A-level - a teacher's viewpoint. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 64-65, Mar. 1992.

Recebido em: 17.04.2000

Aceito em: 14.08.2000